

HERAUSGEGEBEN
IM
MINISTERIUM DER ÖFFENLLICHEN ARBEITEN.

JAHRGANG XXXX. **1890.** HEFT VII BIS IX.

INHALT:

Für den Buchbinder.

Bei dem Einbinden des Jahrgangs sind die „Statistischen Nachweisungen“ aus den einzelnen Heften herauszunehmen und — in sich entsprechend geordnet — **vor** dem Inhaltsverzeichnifs des Jahrgangs dem Uebrigen anzufügen.

BERLIN 1890.
VERLAG VON ERNST & KORN
WILHELM ERNST
(GROPIUS'SCHE BUCH- UND KUNSTHANDLUNG)
WILHELMSTRASSE 90.

VERLAG VON **ERNST & KORN** (WILHELM ERNST) IN **BERLIN.**

LEHRBUCH DER HOCHBAU-CONSTRUCTIONEN

VON

RUDOLPH GOTTGETREU

ARCHITEKT, ORDENTL. PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN MÜNCHEN.

4 BÄNDE MIT ATLAS UND NACHTRAG **126 MARK.**

ERSTER THEIL.

MAURER- UND STEINMETZARBEITEN.

(STEIN-CONSTRUCTIONEN.)

21½ BOGEN TEXT IN GR. OCTAV

MIT 340 EINGEDRUCKTEN HOLZSCHNITTEN, 2 LITH. TAFELN UND EINEM ATLAS VON XXXVI TAFELN STICH IN FOLIO

1881.

PREIS 24 MARK.

ZWEITER THEIL.

ARBEITEN DES ZIMMERMANNES.

(HOLZ-CONSTRUCTIONEN.)

24½ BOGEN TEXT IN GR. OCTAV

MIT 475 EINGEDRUCKTEN HOLZSCHNITTEN, 2 LITH. TAFELN UND EINEM ATLAS VON XXXVI TAFELN STICH IN FOLIO

1882.

PREIS 28 MARK.

AUSFÜHRLICHE PROSPECTE KOSTENFREI.

DRITTER THEIL.

EISEN-CONSTRUCTIONEN.

27 BOGEN TEXT IN GR. OCTAV

MIT 569 EINGEDRUCKTEN HOLZSCHNITTEN UND EINEM ATLAS VON XXXV TAFELN IN FOLIO UND ZWEI TEXTTAFELN

1885.

PREIS 36 MARK.

VIERTER THEIL.

DER INNERE AUSBAU.

20 BOGEN TEXT IN GR. OCTAV

MIT **607** EINGEDRUCKTEN HOLZSCHNITTEN UND EINEM ATLAS VON XXV KUPFERTAFELN IN FOLIO

1888.

PREIS 32 MARK.

FÜNFTER THEIL.

NACHTRAG ZU DEN

ARBEITEN DES INNEREN AUSBAUES.

ENTHALTEND: ABORTSANLAGEN, WASSERVERSORGUNG, HAUSTELEGRAPHIE.

8 BOGEN TEXT IN GR. OCTAV

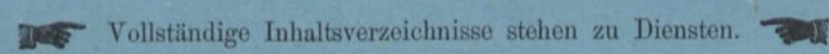
MIT 228 EINGEDRUCKTEN HOLZSCHNITTEN.

1890.

PREIS 6 MARK.

Gebundene Exemplare in elegantem halb Franzbande sind stets vorräthig zum Preise von 3 Mark für den Textband und 20 Mark für den Atlas von 4 Bänden in einem Bande.

Preis des ganzen Werkes so gebunden 161 Mark.



JAHRGANG XXXX. 1890. HEFT VII BIS IX.

Neubau des physiologischen Institutes der Universität Marburg.

(Mit Zeichnungen auf Blatt 19 bis 23 im Atlas.)

(Schlufs.)

In Bezug auf die Construction des Gebäudes ist zunächst dessen Gründung bemerkenswerth. Durch Bodenuntersuchungen wurde festgestellt, dafs unter der oben aufgefüllten Erdmasse eine durchschnittlich 2,50 m starke Schicht von sehr feinem, lehmigem Sande, und darunter, nahezu wagerecht gelagert, eine Schicht von Gerölle aus groben und kleineren Sandsteinstücken, in Kies und Sandsteintrümmern gebettet, folgte. Stellenweise verlor sich die zusammenhängende Schicht, und es fanden sich nur gröfsere Steinstücke zwischen der oberen Erdmasse und der unter der ganzen Geröllesschicht sich vorfindenden Triebsandschicht von etwa 2,8 m Mächtigkeit. Erst in 5 m Tiefe unter der jetzigen Kellersohle wurde der aus feinem und grobem Kies bestehende gute Baugrund gefunden. Probebelastungen der aufgefundenen oberen Geröllschicht ergaben deren Haltbarkeit unter einem Druck von 3,40 kg auf das Quadratcentimeter, doch waren die Proben von nur verhältnifsmäfsig kurzer Dauer und bestand für diese Fälle der günstige Umstand, dafs die untere Triebsandschicht nach keiner Seite hin ausweichen konnte. Nach mehrfachen Erwägungen und vergleichenden Kostenberechnungen wurde bestimmt, dafs, nachdem die Umfassungsmauern des Institutsgebäudes bis auf die untere, zweifellos tragfähige Kiesschicht hinabgeführt seien, die von denselben alsdann fest eingeschlossene Triebsandschicht vermittelst der vorgefundenen Gerölleschicht und einer über die ganze Fläche des Innenraumes ausgebreiteten Kiesschüttung von 1 m Stärke zum Tragen der Innenwände unbedenklich herangezogen werden könne. Bei der Ausführung wurde eine grofse Erdbewegung erforderlich, denn es mufste die Gerölleschicht über die Fläche des ganzen Institutsgebäudes einschl. eines Arbeitsraumes von 0,5 m um das Gebäude herum blofsgelegt werden. Die darauf lagernden Erdmassen fanden zur Auffüllung des Grundstückes hinter der chirurgischen Klinik vortheilhaft Verwendung. Von dieser Fläche abwärts wurden die Fundamentgruben der Umfassungsmauern zwischen Spundwänden abtheilungsweise ausgehoben und erfolgte die Gründung innerhalb des Grundwassers durch Betonschüttung, darüber durch gewöhnliches Bruchsteinmauerwerk in hydraulischem Kalkmörtel. Die in der unteren Triebsandschicht vielfach auftretenden groben Steinblöcke verzögerten das Hinabtreiben der Spundwände, und es war behufs Beseitigung der Steine das Auspumpen der Fundamentgruben meistens nicht zu umgehen, obschon beabsichtigt war, den Triebsand im Grundwasser durch Sackbagger zu heben, um den mittleren Erdblock durch Wasserentziehung nicht in Bewegung zu bringen. Mit dem Fortschreiten der Hochführung der Grundmauern wurde zunächst der zwischen den Spundwänden eingebrachte kräftige Ausbau entfernt, sodann, nachdem die Spundwände selbst herausgezogen, mit ganz besonderer Sorgfalt für den dichten Anschlufs des inneren Erdblockes an die Umfassungsmauern gesorgt. Ebenso wurde die feste Lagerung des Kieses durch schichteweises Einschlämmen bei reicher Wasserrieselung und Feststampfen angestrebt. Die Grundmauern der Innenwände sitzen 1,20 m unter Kellersohle auf dieser Kiesschüttung auf, ihre Grundflächen sind so angeordnet, dafs durchgehends ein gleicher Druck auf die Unterlage erzielt wurde. Die Grundmauern des Treppenhauses mit dem hohen Oberlichtschachte erfuhren daher eine wesentliche Verbreiterung gegen die ersten Pläne. Das Wohngebäude konnte, da es bergwärts vom Institutsgebäude gelegen ist, mit genügender Sicherheit auf der oberen Gerölleschicht, die, ohne sie durch Angraben zu schwächen, in ihrer ganzen Stärke benutzt wurde, gegründet werden.

Gegen das Aufsteigen der Grundfeuchtigkeit wurde in Höhe der Kellersohle eine 1 cm starke Asphaltisolirschicht auf die Mauern gelegt und die zu verschüttenden Theile der äufseren Kellerwände wurden nach deren vollständigem Trockenen mit einem zweimaligen Asphaltgoudron-Anstrich verwahrt. Durch Vorblendung in Backstein haben die Innenflächen der Kelleraufsenmauern eine 6 cm breite Luftisolirschicht erhalten, deren in bestimmten Schichten und Abständen angeordnete Binder in Asphaltgoudron getaucht sind. Im übrigen bestehen die Aufsenmauern aus Bruchsteinmauerwerk mit Verblendung aus grofsen und tief einbindenden Sandsteinwerkstücken, deren hintere Flächen unbearbeitet blieben. Alle Innenmauern sind in Backstein ausgeführt. Zur Sicherung der Fufsbodendielung auf Eichenholzlagern wurden letztere auf zwei Backsteinschichten hohen, oben asphaltirten Pfeilern angeordnet und die ganzen Flächen darunter zuvor mit einer 5 cm starken Betonschüttung und Ziegelflachschicht in verlängertem Cementmörtel versehen. Zur Lüftung des unter der Dielung befindlichen Luftraumes dienen Canäle in den Seitenwänden, die, über dem Fufssockel mit Drahtvergitterung versehen, sich nach dem Zimmer öffnen (Abb. 7). Die

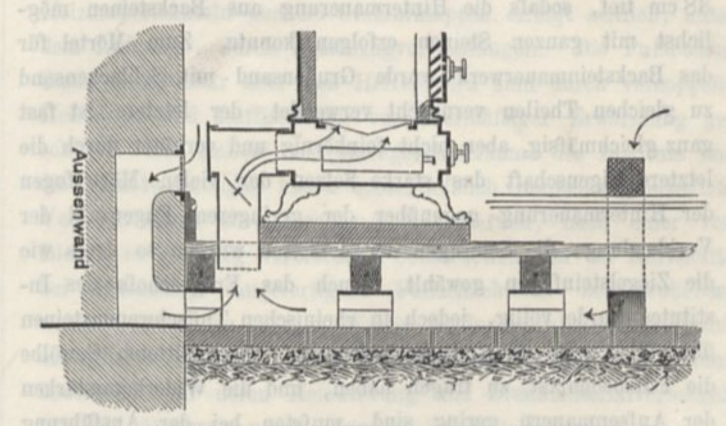


Abb. 7. Lüftung des Luftraumes unter der Dielung.

Ansaugung des Zimmerofens, welcher durch Klappenstellung im Sockel gezwungen werden kann, seine zum Brennen nöthige Luft aus dem Raume unter der Dielung zu entnehmen, bewirkt das Ausschöpfen der dort befindlichen Luft und das Nachströmen der Zimmerluft durch die vergitterten Oeffnungen in den Seitenwänden, wodurch aufserdem eine wohlthuende Erwärmung des Fufsbodens erzielt wird. Die Oefen stehen dabei auf Sandsteinplatten, und die Luftzuführung in den Sockel erfolgt hinten

seitwärts durch ein starkwandiges Ofenrohr in Knieform, welches durch die Dielung reicht.

Die Flure sind mit fein scharrirten Sandsteinplatten, die Thierställe und Nebenräume mit geschliffenen Wesersandsteinplatten belegt. Für die Aufnahme des Schmutzwassers bei der häufig nöthigen reichlichen Spülung der letzteren sind in den einzelnen Räumen kleine, an die Entwässerungsleitung angeschlossene, gemauerte Einfallschächte mit Schlammfang angeordnet worden, deren Deckel das Wasser am Rande eines gufseisernen Rahmens durchlassen, während sie in der mittleren Fläche wiederum die Sandsteinplatte zeigen (Abb. 8). Es wird dadurch eine gröfsere Eisenplatte im Fufsboden vermieden und das Aufsteigen übler Dünste thunlichst beschränkt. Zur zeitweisen Reinigung des Schlammfanges wird der innere Rahmen zugleich mit dem Stein durch die Durchlafslöcher gefafst und abgehoben. Die unter den Plattungen liegenden Thonrohre der vielverzweigten Entwässerungsleitung sind in entsprechend grofse gemauerte Canäle eingelegt, die Wasserzuleitungsrohre verfolgen zumeist eben diesen Weg, sodafs beide nach Aufhebung der Platten im Falle einer Störung verhältnifsmäfsig leicht zugänglich sind. Im Gas- und Quecksilberzimmer ist zur Erreichung der Quecksilberdichtigkeit der Fufsboden in Terrazzo auf Betonunterlage hergestellt und nach dem aus Sandstein gebildeten Quecksilbersammler geneigt angelegt worden.

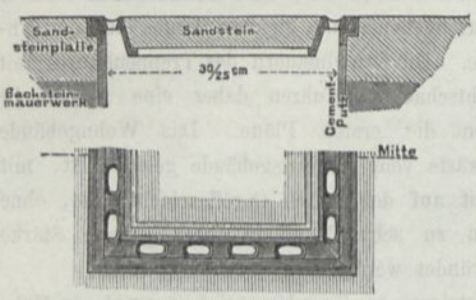


Abb. 8. Einfallschächte für Schmutzwasser mit Schlammfang.

Die Decken des Kellergeschosses sind sämtlich durch flache Kappengewölbe aus Backstein gebildet und mit reinem Schlackensand übertragen.

Alle Aufsenflächen der oberen Stockwerke sind mit Sandsteinquadern verblendet, die Schichten abwechselnd 25 und 38 cm tief, sodafs die Hintermauerung aus Backsteinen möglichst mit ganzen Steinen erfolgen konnte. Zum Mörtel für das Backsteinmauerwerk wurde Grubensand mit Schlackensand zu gleichen Theilen vermischt verwendet, der letztere ist fast ganz gleichmäfsig, aber nicht feinkörnig und verhütet durch die letztere Eigenschaft das starke Setzen der vielen Mörtelfugen der Hintermauerung gegenüber der geringeren Fugenzahl der Verblendung; die Setzfugen der letzteren wurden so grofs wie die Ziegelsteinfugen gewählt. Auch das Erdgeschofs des Institutes wurde völlig, jedoch in rheinischen Tuffschwemmsteinen überwölbt. Da die mit Schlackensand überschütteten Gewölbe die Fufsbodenlast zu tragen haben, und die Widerlagerstärken der Aufsenmauern gering sind, mufsten bei der Ausführung umfassende Verankerungen vorgenommen werden, welche sich in allen Theilen aufs beste bewährt haben. Da die Anker über den Scheiteln der Gewölbe gehalten werden sollten, mufsten dieselben bei der tiefen Kämpferlage die für diesen Fall übliche winklige Form erhalten. Als Deckenstützen wurden im physiologischen Laboratorium vier 0,40 m starke Steinsäulen, im chemischen Laboratorium schlanke eiserne Säulen angeordnet, auch die Decke daselbst wurde auf Eisenträgern durch flache Kappen gebildet, während sonst die Anordnung von Trägern thunlichst vermieden wurde. Die zur Verspannung dienenden Gurtbogen zwischen den Kreuzgewölben treten nicht an der Unterfläche der Wölbungen sichtbar hervor, sondern erheben sich über deren Rücken ebensowie die Verstärkungsgurte der weiten Kappengewölbe. Mit Ausnahme der Umgänge des Treppenhauses, die in Tuffschwemmsteinen überwölbt sind, und des Nebentreppenhauses, welches mit einem halbkreisförmigen eisernen Wellblechgewölbe überspannt ist, sind im ersten Stock Balkendecken ausgeführt, ebenso im Erdgeschofs und ersten Stock des Wohnhauses. Die Decke des Hörsaales wird durch zwei starke Hängewerke getragen; ihre Balken sind behobelt und sichtbar gelassen, während die Flächen der Felder geputzt sind. Ebenfalls durch Hängewerke ist die Innenwand am Instrumentenraume entlastet; hier tragen die Querhängewerke zwei längs liegende Ueberzüge, an welche die zwischen den Bindern befindlichen Deckenbalken in je zwei Punkten auf starken Schrauben aufgehängt sind. Nur das Dach des durch ein Drahtnetz geschützten Oberlichtes ist in Eisen hergestellt. Das Auftreten von Schweifswasser wird der Hauptsache nach schon dadurch vermieden, dafs am Fufsringe des Oberlichtes eine freie Verbindung der äufseren und inneren Luft besteht. Um jedoch ganz sicher zu gehen, hat die Firstpfette eine Schweifswasserrinne erhalten. An den Sparren läuft das Wasser bis zur Gesimsabdeckung, die im Innern rinnenartig aufgebogen ist, herab, und bei den Glastafeln wird es unten auf die Oberfläche der folgenden Tafel dadurch übergeführt, dafs infolge der in der Uebedeckung seitlich angebrachten Kittstreifen die Glastafeln nicht dicht aufeinander liegen. Die Dachdeckung ist in deutschem Schiefer auf Schalung hergestellt, die Kehlen und Giebelanschlüsse sind sorgfältig ausgeschiefert. Es wurde nöthig, die auf die Lüftungsrohre aufgesetzten Sauger gegen den Wind durch starke Drähte zu sichern, zu deren Befestigung in der Dachfläche vielfach Oesen angebracht werden mufsten. Undichtigkeiten wurden dabei durch Anwendung von Blei verhindert. Wie Abbildung 9 zeigt, ist dem Oesenbolzen zunächst eine Bleitafel a untergelegt. Ein zweites Bleiblech b überdeckt diese oben, ist gegen den Bolzen dachförmig aufgebogen und wird an der Aufbiegung durch einen an den Bolzen gelötheten Bleitrichter c geschützt; die Einrichtung hat sich gut bewährt.

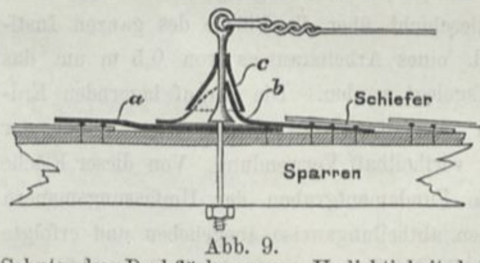


Abb. 9. Schutz der Dachfläche gegen Undichtigkeit bei Anbringung von Oesen für die Befestigungsdrähte der Sauger auf den Lüftungsrohren.

Soweit es anging, sind die **Abluftrohre** geradeaufsteigend durch das Dach geführt worden, doch mufsten die Abzüge der Digestorien im chemischen Laboratorium über dessen Decke bis in die im ersten Stockwerke darüber errichtete Scheidewand geleitet werden; dies erfolgte vermittelst glasirter Thonrohre, welche in den Zwickeln der Deckengewölbe zum Theil vermauert sind, im übrigen mit Cement gedichtet wurden. Aehnlich erfolgte die Führung der Abzüge aus dem Schwefelwasserstoffraume in die Rohre der Wand zwischen der chemischen Sammlung und dem Operationszimmer im ersten Stock.

Die bei dem Mangel einer künstlichen Lüftung angewandten Luftsauger sind die bekannten Huberschen Windhüte. Sie ka-

men aus Platzmangel nicht für jedes einzelne Rohr zur Verwendung, vielmehr wurden zwei und mehrere Rohre kurz vor ihrer Mündung zusammengezogen. Wo es anging, wurden die im Schornsteinkasten befindlichen Rauchrohre mitten durch den Luftsauger und über denselben hinaus geführt. Die Sauger haben sich ohne weitere Nachhülfen nach den angestellten Messungen als überraschend wirksam erwiesen; nur die Abluftrohre der Abdampfnischen haben aufserdem noch Lockflammen erhalten.

Die Heizung des Institutsgebäudes ist eine vereinigte Luft- und Niederdruckdampfheizung. In einigen Ausnahmefällen, wie bei dem Schwefelwasserstoffraum und bei dem Glüh- und Wageraume, wird die frische Luft aus dem Freien bezw. einem ungeheizten Treppenhause entnommen, im übrigen wird sie in einer im Keller befindlichen Luftheizkammer erwärmt und dem Haupttreppenhause zugeführt, dem sie eine Wärme von 12 ° C. mittheilt. Da fast alle zu beheizenden Räume um das Treppenhaus herum liegen, können diese die vorgewärmte Frischluft von dort aus bequem durch Vermittlung der kleinen in ihren Wänden untergebrachten Heizkammern entnehmen. Die in letzteren aufgestellten Dampfheizkörper besitzen aufser dem beim Anheizen zu bedienenden Entlüftungsventil keine weiteren Ventile; ihre Regelung und Ausschaltung wird durch Schlufs des Wärmeschutzmantels, mit dem sie umgeben sind, bewirkt. Die erforderliche Frischluftmenge kann den Räumen auch nach Abstellung der Dampfheizung aufserhalb der Ummantelung zugeführt werden, eine Mischung tritt beim Oeffnen des Deckels ein. An der Zimmerseite der Heizkammer ist noch eine untere Oeffnung angebracht, wodurch eine Umlauf-Heizung ermöglicht wird, die für die Erwärmung des Fufsbodens dienlich ist. Für diesen Fall kann die durch Zugketten von der Zimmerseite aus stellbare Frischluftöffnung auf der Treppenhausseite ganz oder theilweise geschlossen werden. Beide Luftöffnungen sind dicht über dem Boden der Heizkammer, aber etwa 18 cm über dem Fufsboden der Räume angebracht. Zur zeitweisen Reinigung von Staub ist eine Seite der Heizkammer, wo es anging die Flurseite, mit eiserner Thür versehen. Die dieser Thür zugewendete Fläche der Ummantelung kann abgeschraubt werden, sodafs der Heizkörper vollständig blofsgelegt und erforderlichenfalls aus der Nische herausgenommen werden kann. Die Entlüftungshähnchen der Dampfheizkörper werden aufserhalb der Heizkammer ohne Oeffnen der Thüren bedient. Die Dampfleitung wie die besondere Dampfwasserleitung liegen dicht unter der Decke des Kellergeschosses; am Fufse der aufsteigenden Rohre befinden sich Wassersammelsäcke von genügender Tiefe (bei höchstens 0,5 Atm. Dampfdruck 0,5 m tief) zur Ueberführung des in den aufsteigenden Dampfrohren sich etwa bildenden rücklaufenden Wassers in die etwas tiefer liegende Sammelleitung. Für die Dehnbarkeit der langen Dampfrohrleitung ist durch kupferne Bogenrohre gesorgt. Die Mauerdurchgänge sind mit Muffenrohren umgeben, alle Leitungsrohre im Keller sind mit schlechten Wärmeleitern umhüllt, und zwar besteht die Umhüllung aus zusammengeprefster Torfmasse in längs aufgeschnittenen dickwandigen Hohlcylindern, welche zunächst mit Draht um die Rohre festgebunden, in den Fugen mit Asbestmasse gedichtet, darüber mit Leinwandstreifen fortgesetzt umwickelt und mit Oelfarbe überstrichen wurden.

Zur Dampferzeugung dienen drei Niederdruckdampfkessel, deren Dampfrohre sich sämtlich im Hauptsammelrohre vereinigen. Je zwei Kessel werden für die Heizung benutzt, der dritte dient als Ersatzkessel. Die Aufstellung der drei Kessel in dem beschränkten dazu verfügbaren Raume hat sich gut bewährt, ebenso die Anordnung der Standrohre, die nicht gerade nach oben geführt werden konnten, sondern in einem breiten Mauerschachte zwischen dem chemischen Laboratorium und dem Flure nebeneinander unterzubringen waren und an ihrem oberen Ende durch eine eiserne Thür von ersterem Raume aus zu übersehen sind. Etwa hochgetriebenes Wasser ergiefst sich in den sorgfältig cementirten mit der Entwässerungsleitung des Gebäudes verbundenen Schacht. Eine besondere Vorrichtung regelt die Kesselfeuerung thunlichst selbstthätig derart, dafs bei niedrigem Dampfdruck ein reichlicherer Luftzutritt zu ihr erfolgt, während anderseits eine Einschränkung der Feuerung erfolgt, sobald in einzelnen Räumen die Beheizung durch Schliefsung des Heizkörperdeckels eingestellt wird und dadurch die Dampfspannung in der ganzen Anlage zunimmt.

Im Hörsaale wurden die Dampfheizkörper unter dem Podium angebracht, und die Zuführung der vorgewärmten Frischluft zu ihnen konnte nur durch wagerechte Leitung unter dem Fufsboden des Hörsaales erfolgen. Die Heizkörper werden durch Rippenrohre in zwei Abtheilungen gebildet; sie liegen gleichfalls innerhalb eines Isolirmantels und einer kleinen Heizkammer rechts und links der kurzen Mittelachse des Saales. Durch die Canalführung und die angebrachten Klappen läfst sich die Heizung auf Lüftung und Umlauf einrichten. Die an den Heizkörpern erwärmte frische Luft verbreitet sich unter dem Podium, strömt durch die in dessen Setzstufen befindlichen Bohrlöcher in der zum Wohlbefinden geeigneten Zimmertemperatur aus und wird durch die hochliegenden Abluftöffnungen entfernt. Die Bohrlöcher sind in gleicher Gröfse, jedoch der Zahl nach von unten nach oben abnehmend angebracht. Beim Anheizen, vor Besetzung des Hörsaales, dient die Umlaufeinrichtung. Für sie sind in der untersten Setzstufe grofse, mit Drahtgittern versehene Ausschnitte angebracht, durch welche die eintretende Zimmerluft in besonderer Canalleitung zum Heizkörper gelangt. Die Regelung der Luftzuführung, sowie der Deckel auf den Heizkörpermänteln und der Umlaufklappen erfolgt seitlich, unter dem Lufgange, durch Kettenzugvorrichtungen. Die Fufsbodentheile unmittelbar über den Heizkörpern sind durch verdoppelte Holzböden und Luftisolirung vor übermäfsiger Erwärmung geschützt. Die Keller- und Dachgeschofsräume des Instituts und die Dienstwohnungen haben ausschliefslich Ofenheizung erhalten. Von den Oefen sind besonders die eisernen, nach einer von Bickell in Marburg verbesserten Construction von der Karlshütte bei Biedenkopf angefertigten Füllschachtöfen hervorzuheben, welche einen den ganzen Winter hindurch anhaltenden Brand ermöglichen, die Lüftung bezw. Entlüftung der beheizten Räume bewirken, und deren Heizwirkung und Brennmaterialverbrauch für jede Aufsentemperatur passend geregelt werden kann.

Der innere Ausbau ist durchweg einfach gehalten. Ueber die Keller- und Stallfufsböden wurde bereits gesprochen. Die Wohnung des Dieners, die Werkstatt und das Krystallisationszimmer, sowie die Küche des Institutsdirectors haben Kiefernholzfufsboden erhalten. In den übrigen Geschossen sind die Fufsböden der Flurgänge mit Thonplatten belegt, ebenso der Glühraum, dagegen sind Destillir- und Schwefelwasserstoffraum mit Sandstein beplattet, das optische und Wage-Zimmer im Erdgeschofs, die Bibliothek und das Directorzimmer haben

Eichenriemenboden, die übrigen Räume Kiefernholzfufsboden erhalten. Um die Zugänglichkeit der Rohrleitungen unter den Dielen zu wahren, sind diese an den betreffenden Stellen aufgeschraubt, oder es wurden dort Friese eingelegt.

Die Thüren sind aus bestem ostpreufsischen Kiefernholz, die Fenster aus Eichenholz gefertigt. Für reichliche Lüftung im Sommer und besondere Fälle sind die Oberflügel der Fenster um ihre untere Achse drehbar als Klappflügel hergestellt und mit dem in Abb. 10 dargestellten Beschlage*) versehen worden.

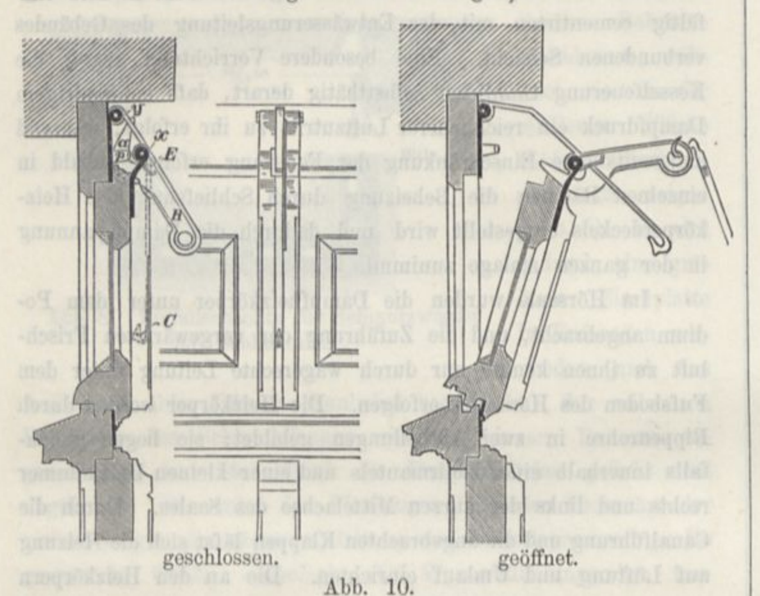
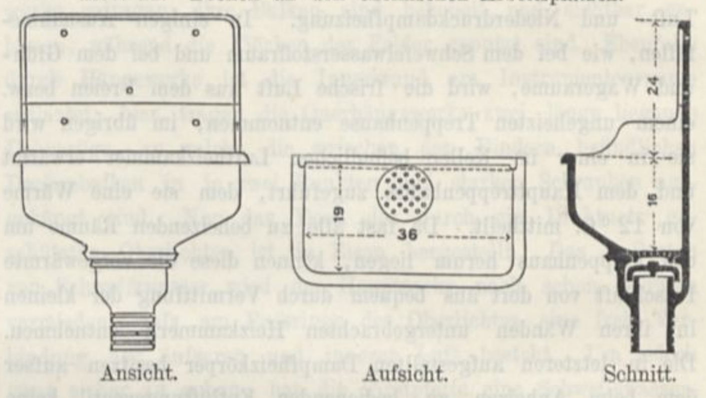


Abb. 10.
Beschlag der Fensteroberflügel als Klappflügel zur Lüftung.

Sämtliche Treppen mit Ausnahme einiger hölzernen Bodentreppen sind aus rothem harten und feinkörnigen Sandstein aus der Nähe Marburgs ausgeführt und haben zum Theil verzierte schmiedeeiserne Geländer erhalten. Geschmiedete Gitter sind vor allen Fenstern des Kellergeschosses angebracht. Wo die Mauer-Ecken nicht durch Haustein gebildet sind, wurden sie durch Winkeleisen, die mit dem Putz bündig liegen, geschützt. Wände und Decken sind in einfachster Weise mit Leimfarbe gestrichen, doch haben Vorhalle, Flure, Treppenhaus und Hörsaal einigen Schmuck erhalten. Der untere Theil der Wände in den Laboratorien und Fluren ist bis zu 1,5 m Höhe mit Oelfarbe gestrichen.

Von ganz besonderer Wichtigkeit für die Benutzbarkeit des Institutes ist seine Ausstattung mit den Leitungen für Wasser, Schmutzwasser, Gas, elektrisches Licht und Fernsprechbetrieb. Das Wasser wird dem Institut durch eigene Leitung von der städtischen Hauptleitung in 80 mm weiten Rohren zugeführt und tritt zunächst, ohne den Wassermesser zu durchlaufen, durch 51 mm starke Röhren in die sechs in den verschiedenen Treppenhäusern vertheilten Wasserstöcke. Neben der Thür zum chemischen Laboratorium ist auf dem Flure noch eine Brause an dieser Leitung angebracht, die von Personen, deren Kleider mit Aether oder Spiritus begossen und in Brand gerathen sind, sofort benutzt werden kann. Die Leitung für den täglichen Verbrauch geht dann durch den Wassermesser. Sie ist aus 38 und 25 mm weiten, schmiedeeisernen Muffenrohren und 19 mm weiten, starkwandigen Bleirohren gebildet. Die oberen Endigungen der Steigerohre sind mit Windkesseln versehen. In Höhe der Kellersohle ist der Wasserdruck etwa $4^1/_2$ Atm. stark und wird im Keller- und Erdgeschofs zum Treiben von kleinen Wassermotoren benutzt. Alle Auslaufhähne sind mit einer Vorrichtung zur Verhinderung des Spritzens versehen, welche in der Theilung der Auslaufmündung durch ein entsprechend langes Eisenblech und in einer inneren Erweiterung des lichten Raumes vor derselben besteht. Die Becken an den chemischen Arbeitsplätzen sind aus braunglasirtem Thon von March u. Söhne in Charlottenburg nach besonderer Zeichnung für die Tische passend geformt (Abb. 11). Sie sind mit Schlamm-

Abb. 11. Becken an den chemischen Arbeitsplätzen.



fang, Kappe und Sieb versehen, die übrigen Becken sind zumeist Waschbecken und aus sog. englischem Porcellan. Aufserdem sind die aus Sandstein hergestellten grofsen und tiefen Spültröge zu erwähnen; sie wurden erforderlich im Destillirraum, im Raume für Glassachen und Chemicalien, im Glühraum und Vorbereitungszimmer. Die Vorrichtungen zum Abtropfen sind aus Holz hergestellt. Um einen thunlichst guten Geruchverschlufs zu erzielen und zur Schlammentfernung wurden am unteren Ende der Hauptabflufsrohre gröfsere Syphons angebracht. Hier schliefst sich die unter der Plattung des Kellergeschosses liegende Thonrohr-Sammelleitung an, durch welche sich das verbrauchte Wasser zunächst in einen mit Schlammfang versehenen grofsen Schacht aufserhalb des Gebäudes ergiefst und zugleich mit dem übrigen Tagewasser des ganzen Grundstückes der überwölbten Ketzerbach zugeführt wird (vgl. den Lageplan Abb. 15).

Für die Gaszuführung wurde eine 75 mm weite Leitung von der städtischen Hauptleitung abgezweigt. Abstellhähne sind neben dem aufserhalb des Gebäudes befindlichen Haupthahne noch so angeordnet worden, dafs die Gaszuführung für Keller-, Erd- und Hauptgeschofs einzeln, und zwar sowohl im Keller, wie auch in jedem der Geschosse abgesperrt werden kann. Zur Erleuchtung des Hörsaales dienen ein Kronleuchter zu zwölf Flammen und vier Wandarme zu je drei Flammen. Zur besonders guten Beleuchtung des Experimentirtisches und der Wandtafeln wurden, nach vielen ungünstig ausgefallenen Proben mit anderen Mitteln, schliefslich zwei Siemenssche Lampen mit Regenerativbrenner beschafft. Aufser seiner Gasbeleuchtung hat der Hörsaal noch elektrisches Licht erhalten. Um den Vorzug dieser Beleuchtungsart, die Möglichkeit nämlich einer Verdunkelung des Raumes ohne Löschung der Lichter, auch für die Gasbeleuchtung zu gewinnen, wurde die Gasleitung mit entsprechend eingerichteten Hähnen versehen.

Um für einige besondere Lehrzwecke die ursprünglich nur für den Hörsaal bestimmte elektrische Beleuchtung auch im physiologischen Laboratorium benutzen zu können, ist die elektrische Leitung in diesen Raum geführt worden, doch müssen im Bedarfsfalle die Bogenlampen, von denen nur vier Stück für

*) Benschs patentirter Oberfenster-Verschlufs mit Fanghaken (D. R. P. Nr. 31254) vgl. Centralblatt d. Bauverwaltung 1885 S. 492.

das Auditorium beschafft sind, dahin umgehängt werden. Zur Erzeugung des elektrischen Lichtes dient eine dynamoelektrische Compoundmaschine, zu deren Betrieb ein Zwillings-Gasmotor von Otto (Deutz) von drei Pferdekräften beschafft worden ist. Um die Hausleitung vor den Stöfsen des Gasmotors, die ein Zucken der Flammen verursachen würden, zu sichern, sind in die aus dem Hauptgasmesser unmittelbar abgezweigte besondere Leitung für den Motor Regulatoren eingeschaltet worden, und weil das für den Motor verbrauchte Gas billiger abgegeben wird, ist hier noch ein besonderer Gasmesser aufgestellt.

Die Fernsprechleitung besitzt Stationen im Arbeits- und Wohnzimmer des Assistenten und des Dieners und im Mikroskopirzimmer. Ihre Centralstation befindet sich in der mechanischen Werkstatt und wird vom Mechaniker bedient. Gleichlaufend mit ihr geht die elektrische Klingelleitung.

Nebengebäude.

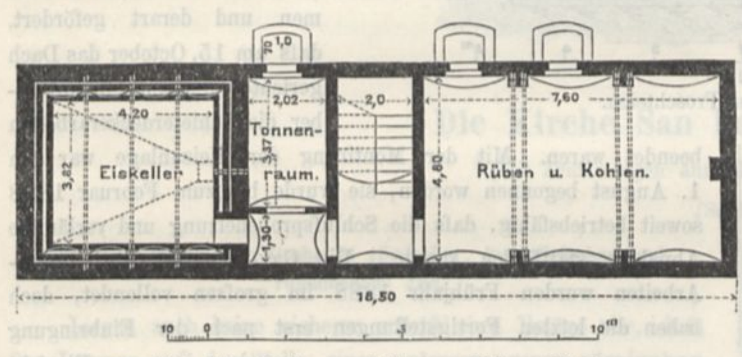


Abb. 12. Kellergrundrifs vom Nebengebäude.

Zur Unterbringung von Eis-, Kohlen- und Futtervorräthen, von feuergefährlichen Gegenständen, Säure-, Aether- und Spiritusballons und zur Ergänzung der Thierstallungen wurde ein Nebengebäude, bestehend aus Keller, Erdgeschofs und Dachboden errichtet. Es liegt an dem an der Ostgrenze des Grundstückes angelegten Fahrwege, an welchem sich auch die Licht- und Einladeöffnungen für das Kellergeschofs befinden. Im Kellergeschofs liegen nach Norden der Eiskeller, mit zwei Luftisolirschichten im Mauerwerk, hölzernem, nochmals isolirtem Einbau und Entwässerung unter Wasserabschlufs nach einem bis auf die durchlässige Kiesschicht reichenden Sickerschacht. Oeffnungen zum Einbringen des Eises befinden sich in der Decke des Kellers in der Nordostecke und aufsen in der Umfassungsmauer daselbst über Sockel, durch doppelte Holzdeckel und Thüren mit dazwischen gelegter Strohpolsterung geschlossen. Zur Entnahme soll die Oeffnung in der Decke benutzt werden, welche vom Inneren des Erdgeschosses aus durch einen besonderen, mit zwei Zwischenthüren versehenen Zugang erreichbar ist. Auch für die Durchlüftung des Eiskellers vor dessen Beschickung ist durch eine in der Seitenwand des Kellers nach dem Gange zu angebrachte, für gewöhnlich in der oben angegebenen Weise geschlossene Oeffnung gesorgt worden. Der Raum neben dem Eiskeller ist zur Aufbewahrung von Geräthen und zur Unterbringung von zwei Heidelberger Tonnen bestimmt, welche zur zeitweisen Aufnahme thierischer Leichentheile bis zu deren Entfernung dienen sollen. Das Ausbringen der Tonnen erfolgt durch den vor diesem Raume befindlichen Schacht vermittelst Flaschenzuges. In der Mittelachse befindet sich das Treppenhaus, von Kellersohle bis Dachboden führend, und der übrige Kellerraum ist zur Aufnahme der Brennmaterialien und der Vorräthe an Kraut und Rüben für die Thiere bestimmt.

Im Erdgeschofs befindet sich neben dem oben erwähnten Zugange für den Eiskeller ein geräumiger Stall zur Beobachtung eines gröfseren Thieres (Pferd oder Rind), welcher Raum bieten mufs für die Verrichtungen beim Werfen des Thieres und für eine gröfsere Anzahl von Beobachtern. Der Raum ist behufs sorgfältiger Reinigung mit feinen Sandsteinplatten belegt; für längeren Aufenthalt des Thieres wird reichlich gestreut. Rechts und links vom Treppenhause liegt je ein Raum zur Unterbringung von Vögeln, Hühnern, Tauben, Gänsen, in je besonderen üblichen Ställen und von kleineren Vögeln in Nistkästen einerseits und für Meerschweinchen und Kaninchen anderseits. Vor beiden Stallungen sind, durch niedrige Thüren vom Gebäude aus zugänglich, Käfige von 2,5 m Breite und 4 m Länge im Freien angebracht, die zur Beobachtung des Verhaltens operirter Thiere im Freien dienen. Ihr aus Kiesschüttung hergestellter Fufsboden besteht nach unten aus immer gröberen Stücken,

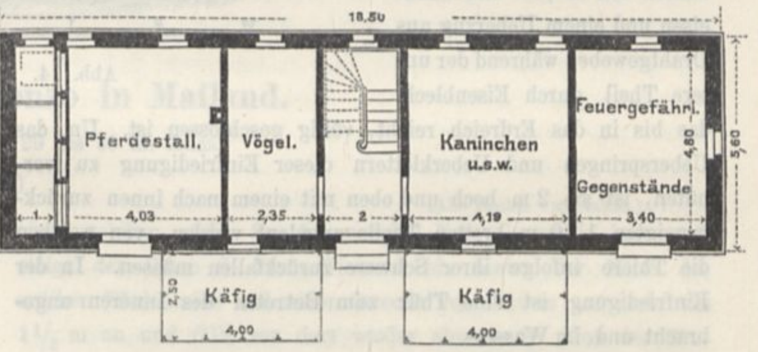


Abb. 13. Erdgeschofsgrundrifs vom Nebengebäude.

unter denen Schichten aus geschlagenen Steinen folgen, welche das eindringende Regenwasser nach einem Entwässerungsschacht abführen. Bei der freien Lage der Käfige mufste aufserdem einerseits Schutz gegen das Eindringen von Ratten und Raubthieren, anderseits auf das Unterwühlen der eingehegten Thiere Bedacht genommen werden. Zu diesem Zwecke wurde der untere Theil aus 1 m hohem Wellblech hergestellt, welches durchschnittlich 0,70 m tief in das Erdreich hinabreicht. Die senkrechten, aus ⊥-Eisen gebildeten Pfosten sind in Steinwürfeln, die unter der Unterkante dieser Wellblechumfassung liegen, eingelassen, ebenso befinden sich die wasserabführenden Steinschlagschichten in dieser Tiefe. In der Mitte der Käfige ist ein Sandsteintrog mit kleinem Springbrunnen und Wasserabflufs zur Versorgung der Thiere mit frischem Trink- und Badewasser angebracht. Endlich liegt an der Südseite, von aufsen zugänglich, der Raum für die Ballons, die in eisernen Kippgestellen aufgestellt sind. Der Dachraum dient zur Unterbringung von Trockenfutter, Kisten usw. Das Gebäude ist massiv aus Sandstein, wie das Hauptgebäude, jedoch in den Flächen nur hammerrecht bearbeitet ausgeführt, das Kellergeschofs wurde mit flachen Kappen aus Backsteinen überwölbt, der Eiskeller hat doppeltes, mit Luftschicht versehenes Gewölbe erhalten.

Von den Nebenanlagen ist der für die Beobachtung operirter Thiere bei ihren Gehversuchen in Gröfse von 10 : 3 m angelegte Hundehof zu erwähnen, welcher glatt geplattet und mit eiserner Einfriedigung versehen ist. Ferner der Froschteich (Abb. 14). Er besitzt einen lichten Durchmesser von 4 m und eine Tiefe von 1,50 m bis zum Wasserspiegel. Der obere Rand

hat ein Profil erhalten, welches den Fröschen das Besteigen des trockenen Landes erleichtert, das rings um die Einfassung in 1 m Breite angelegt und mit Pflanzen besetzt ist. Um das stetig durch den Springbrunnen inmitten des Behälters zugeführte Wasser in der für oben genannten Zweck passenden Höhe zu halten, ist daselbst ein Ueberlauftrichter angebracht, während ein Grundablafs die zeitweise nöthige völlige Entleerung ermöglicht. Der Boden des Behälters ist 0,5 m hoch mit geeignetem Erdreich für Wasserpflanzen bedeckt, welche darin gezogen werden. Die Einfridigung des Teiches hat 7 m Durchmesser erhalten, besteht aus einem Gestell von ⊥-, L-und Bandeisen und einem Ueberzug aus Drahtgewebe, während der untere Theil durch Eisenblech, das bis in das Erdreich reicht, völlig geschlossen ist. Um das Ueberspringen und Ueberklettern dieser Einfriedigung zu verhüten, ist sie 2 m hoch und oben mit einem nach innen zurückgeneigten 1,10 m breiten Theile angelegt worden, von welchen die Thiere infolge ihrer Schwere zurückfallen müssen. In der Einfriedigung ist eine Thür zum Betreten des Inneren angebracht und im Wasserbehälter befinden sich gemauerte Stufen zum Hinabsteigen. Die Regelung des Wasserzuflusses, d. h. des Springbrunnens, erfolgt vom Institute aus im Kaninchen-Raume, von wo aus auch die Entleerung dieses Leitungsarmes bewirkt werden kann.

Abb. 14. Der Froschteich.

Die Umgebung des Gebäudes ist in den gegebenen Höhenverhältnissen zur Abführung des Tagewassers nach Nordosten hin geregelt und mit Kieswegen und Grasplätzen versehen, die mit Bäumen und Sträuchern bepflanzt sind. Aus dem Lageplan (Abb. 15) wird die Entwässerung des gesamten Grundstückes, sowie die Abführung des Dachwassers ersichtlich, die Einfallschächte sind sämtlich mit Schlammfängen versehen. Die Entwässerungsleitung selbst besteht aus 15 bis 25 cm weiten Thonrohren. Vor der Ausflufsöffnung des am Einfahrtsthore an der Ostgrenze angeordneten Sammelschachtes ist ein eiserner Rost angebracht, der Schacht ist besteigbar in 0,80/0,80 m Weite hergestellt.

Abb. 15. Lageplan des physiologischen Instituts.

Die Bauausführung begann im Sommer 1885 mit der Niederlegung der auf dem zur Verfügung gestellten Bauplatze bestehenden alten Gebäude. Mit den Gründungsarbeiten konnte erst anfangs November 1885 vorgegangen werden; sie wurden durch den Winter längere Zeit unterbrochen und Ende Mai 1886 fertig gestellt. Bis zum Winter 1886/87 wurde fast der ganze Bau bis zum Hauptgesims hochgeführt und noch ein Theil des Gebäudes mit Dach versehen. Ende Mai 1887 beendete man die Dachdeckerarbeiten des Instituts, und der innere Ausbau begann. Im Juli 1887 wurden die Arbeiten für das Wohnhaus in Angriff genommen und derart gefördert, dafs am 15. October das Dach gerichtet und am 10. November die Schieferdeckerarbeiten beendet waren. Mit der Montirung der Heizanlage war am 1. August begonnen worden, sie wurde bis zum Februar 1888 soweit betriebsfähig, dafs die Schlufsprobeheizung und vorläufige Abnahme stattfinden konnte. Die Gas- und Wasserleitungs-Arbeiten wurden Frühjahr 1888 im grofsen vollendet, doch haben die letzten Fertigstellungen erst nach der Einbringung der inneren Einrichtungsgegenstände ausgeführt werden können und bis zur Uebergabe des Instituts gedauert. Die Leitungen für die Fernsprecheinrichtung sowie für die elektrische Klingel- und Lichtanlage wurden zur Zeit der Ausführung der Malerarbeiten im Sommer 1888 gelegt. Im März 1888 erfolgte die Genehmigung der für die sämtlichen inneren Ausrüstungs-Gegenstände auf Grund vorangegangener Instructionsreisen angefertigten Zeichnungen. Ihre Bearbeitung war zeitraubend, doch wurde infolge der erzielten Genauigkeit dieser Unterlagen weiterer Zeitverlust bei der Ausführung vermieden. Die Uebergabe des Wohngebäudes konnte am 1. October, die des Institutes nach reichlich angestellter Prüfung aller Einrichtungen und Anlernung der Bediensteten am 21. December 1888 stattfinden.

Die Baukosten haben betragen:

1. Für die Gründung . . . . . . rund 29400 ℳ,
2. für den Hauptbau:

	Uebertrag	29400 ℳ,
a) Erdarbeiten bis Kellersohle .	1610 ℳ,	
b) Maurerarbeiten	23720 ℳ,	
c) Maurermaterialien	34210 ℳ,	
d) Asphaltarbeiten	850 ℳ,	
e) Steinmetzarbeiten einschl. Mat.	66840 ℳ,	
f) Zimmerarbeiten	11540 ℳ,	
g) Stakerarbeiten	990 ℳ,	
h) Schmiede- und Eisenarbeiten	9780 ℳ,	
i) Dachdeckerarbeiten	5190 ℳ,	
k) Klempnerarbeiten	1820 ℳ,	
l) Tischlerarbeiten	22210 ℳ,	
m) Schlosserarbeiten	5210 ℳ,	
n) Glaserarbeiten	2550 ℳ,	
o) Anstreicherarbeiten	5760 ℳ,	
p) Ofenarbeiten, Centralheizung .	19900 ℳ,	
q) Gas- und Wasserleitung . .	17900 ℳ.	
zu übertragen	230080 ℳ,	29400 ℳ,

Uebertrag	230080 ℳ,	29400 ℳ,
r) Bauführung	21360 ℳ,	
s) Insgemein	14400 ℳ,	
zusammen . .		265840 ℳ,
3. Innere Einrichtung:		
a) Möbel	27900 ℳ,	
b) Instrumente	24000 ℳ,	
zusammen . .		51900 ℳ,
4. Nebenanlagen		16500 ℳ,
5. Nebengebäude		9520 ℳ,
im ganzen . .		373160 ℳ.

Bei 784,5 qm bebauter Grundfläche des Hauptbaues hat das Quadratmeter ausschliefslich Gründung 339 ℳ, und bei 11203,5 cbm Rauminhalt (von Kellersohle bis zu den Hauptgesimsen gerechnet) das Cubikmeter 23,7 ℳ gekostet. Die Bauausführung erfolgte unter Oberleitung des Universitäts-Architekten und Kreisbauinspectors Wentzel durch den Unterzeichneten. Zölffel.

Die Kirche San Lorenzo in Mailand.

(Mit Zeichnungen auf Blatt 29 bis 35 im Atlas.)

(Schlufs.)

III. Die Gestalt der Kirche in römischer, byzantinischer und romanischer Zeit.

Liegen auch keine sicheren schriftlichen Beläge vor, dafs San Lorenzo auf der Stelle eines untergegangenen römischen Baudenkmals sich erhebe, so liefert doch das heutige Gebäude genügende Anzeichen, um diese Thatsache aufserhalb jedes Zweifels zu stellen. Die korinthischen und compositen Capitelle, welche in nicht geringer Zahl in San Lorenzo und in San Ippolito vorhanden sind und alle zu einer gleichen Ordnung gehören, sind viel zu gut, als dafs sie in christlicher Zeit ausgeführt sein könnten; vielmehr stimmen ihre Formen mit jenen der vor der Kirche befindlichen antiken Säulenreihe völlig überein. Die genannten Capitelle mögen einst zum Schmucke irgend eines heidnischen Prachtsaales gehört haben, der von ihrem heutigen Standorte nicht weit entfernt zu suchen sein wird. Desgleichen ist das vor San Aquilino befindliche Thürgestell zweifellos römische Arbeit; wahrscheinlich gilt auch dasselbe für das unter den Grundmauern dieser Capelle gefundene Betonpflaster. Das Mauerwerk der ältesten Theile nicht allein der Kirche, sondern auch der ihr angehörenden Bauwerke besteht aus Ziegeln, welche muthmafslich einem abgebrochenen römischen Bau entnommen sind, und zeigt Bildungen, für welche römische Vorbilder sich beibringen lassen. Die genaue Uebereinstimmung der Achsen von San Lorenzo mit denen der alten Capellen und sogar der antiken Säulenreihe verdient, besonders bei einem mittelalterlichen Bauwerke alle Aufmerksamkeit. Schliefslich sei auch auf die zahlreichen Bruchstücke von Inschriften der römischen Kaiserzeit hingewiesen, welche in und bei der Kirche gefunden worden sind.[1])

Gewöhnlich pflegt eine Bodenerhebung den Ort zu kennzeichnen, wo ein mächtiger Bau untergegangen ist, und auf einer solchen steht San Lorenzo.[1]) Vom Carrobbio kommend, steigt der Corso di Porta Ticinese bis hinter der Mitte der antiken Säulenreihe auf einer Strecke von 100 m um mehr als $1\frac{1}{2}$ m an und fällt von dort wieder abwärts.[2]) Von der Säulenreihe steigt das Erdreich bis zur Schwelle der Kirche nochmals um 80 cm an. Noch gröfser ist der Unterschied zwischen dem Fufsboden der Kirche und dem Pflaster der sie nördlich und östlich umgebenden Piazza della Vetra, ein Unterschied, welcher beim Austritt aus San Sisto fast 3 m beträgt, nach der gegenüber liegenden Seite des Platzes aber noch bedeutend wächst.[3])

So grofsartig nun auch das antike Gebäude, welches die Stelle von San Lorenzo einnahm, gewesen sein mag, so wurde es doch in solchem Mafse zerstört, dafs von seiner Gestalt uns nichts erhalten blieb. Das heutige Gebäude steht, wie die Untersuchung der Grundmauern ergab, in keinem unmittelbaren Zusammenhange mit dem heidnischen. Es ist aber eine nicht ungewöhnliche Erscheinung in der Geschichte der kirchlichen Architektur, dafs spätere Erneuerungen einer Kirche zwar den Aufbau je nach den künstlerischen Anschauungen und dem technischen Vermögen ändern, das Wesen des alten Grundplans aber festhalten.[4]) Sollte der christliche Neubau daher nicht

1) Th. Mommsen, Corpus inscriptionum Latinarum. V, 2. Gallia cisalpina. Berlin, 1877. Fol. Nr. 5805, 5806, 5809, 5810, 5814, 5982, 6223 und 6303.

1) Der Boden Mailands, welcher im allgemeinen nach einer schiefen Ebene von Nordwest nach Südost fällt, sodafs der höchste und der tiefste Theil der Stadt gegen einander einen Unterschied von 15 m aufweisen, ist von natürlichen Erhebungen frei. Wo dennoch Erhebungen vorkommen, sind sie erst durch Zerstörung alter Bauwerke hervorgerufen worden. Vergl. Milano Tecnica, Ipsografia.

2) Seitdem man vor einigen Jahren die Brücke, welche über den mittelalterlichen Festungsgraben führt, erneuert hat, ist allerdings das Gefälle gegen dieselbe hin verringert worden.

3) Die Senkung des Platzes auf der Nordseite wird allerdings durch die Niederung der Vetabbia vermehrt, eines alten Canals, welcher ehemals zwar ein wichtiger Wasserlauf war, heute aber, da er stark eingeengt, überbrückt worden ist.

4) Eine bedeutende Ausnahme von dieser Regel bildet der centrale Neubau von S. Peter in Rom, welchen die Begeisterung der Renaissance für den Centralbau an Stelle des alten Langbaues setzte.

etwa von dem Wunsche bedingt worden sein, dafs die neue Kirche den Grundrifs der alten im wesentlichen wiederholen möchte, während im Aufrifs die seit der Römerzeit gemachten technischen Fortschritte zur Geltung kommen durften? Ist diese Vermuthung richtig, so würde der römische Tempel centraler Art gewesen sein, wobei es dahingestellt bleiben mufs, ob der Grundrifs rund war oder bereits die heutige Gestalt besafs. War das letztere der Fall, so kann der quadratische Mittelraum höchstens mit einem Kreuzgewölbe — was aber nicht glaubwürdig erscheint — oder mit einer Holzdecke überspannt gewesen sein, wenn er nicht etwa gar offen war.[1]

Das Fehlen eines besonderen Altarhauses mag auf den Einflufs des älteren römischen Baues zurückzuführen sein. Der heutige Grundrifs entspricht den Forderungen des altchristlichen Gottesdienstes in keiner Weise. Bestimmt, der zahlreichen Geistlichkeit Platz zu gewähren und den Altar aufzunehmen, welcher bei der Vorbereitung des heiligen Opfers zu verhüllen war, bildet die Chornische den Zielpunkt des Innern der Langkirchen und fehlt auch an den auf uns geretteten Centralkirchen nur in wenigen Fällen. Von keiner derselben, wenn wir von den byzantinischen absehen, ist aber nachgewiesen, dafs sie zu Gemeindezwecken gedient hätte. Vielmehr scheint man ihre Gestalt mit Vorliebe der machtvollen Erscheinung wegen verwendet zu haben; so eignete sie sich besonders, die heiligen Stätten für die Scharen wallender Pilger denkmalartig zu kennzeichen. Wenn uns auch von den Wallfahrtskirchen des heiligen Landes wenig mehr als einige alte Beschreibungen erhalten sind, so besitzen wir doch eine zweifellose Nachbildung jener in der bekannten Kirche S. Stefano rotondo in Rom.[2] Der rein centrale Charakter stellt sie San Lorenzo sehr nahe, und die Verwandtschaft beider kann sich aus dem Umstande erklären, dafs sie eben als Denkmalskirchen gegründet wurden. Da nun bereits der römische Bau von San Lorenzo keine Altarnische gehabt haben wird, so scheint es, dafs man auch bei dem byzantinischen Neubau das Bedürfnifs einer solchen infolge besonderer gottesdienstlicher Einrichtungen nicht empfunden habe. Der Grundsatz, dafs jeder Altar die Gebeine eines Heiligen enthalten müsse, hatte während der ersten christlichen Jahrhunderte dahin geführt, dafs man in jeder Stadt die Kirchen nur solchen Heiligen weihte, welche daselbst gelebt hatten oder gestorben waren; dieselbe Regel befolgte man bei der Darstellung heiliger Personen — von den Aposteln abgesehen — auf den Mosaiken.[1] Ausnahmen sind bis zum Ende des 5. Jahrhunderts sehr selten; doch scheint es, dafs die beiden Erzdiakone S. Stephan und S. Lorenz die ersten waren, deren Verehrung sich allgemein verbreitete. Nachdem bereits Constantin dem heil. Lorenz über seinem Grabe an der Via Tiburtina bei Rom eine Basilika gegründet und man sehr bald noch andere innerhalb der Stadt ihm geweiht hatte, erhoben sich zu Beginn des 5. Jahrhunderts auch in den übrigen Hauptstädten Ravenna, Constantinopel und Trier Kirchen, welche den Namen des heil. Lorenz trugen.[2] Gleichzeitig entstanden monumentale Darstellungen seiner Person und seines Leidens, deren bekannteste im Grabmal der Galla Placidia in Ravenna sich befindet. Zu den genannten Kirchen gesellte sich bis zur Mitte des 5. Jahrhunderts diejenige in Mailand, woselbst man bereits während des zweiten Jahrzehnts dem heil. Stephan eine Kirche erbaut hatte.[3]

Kann man nun in Mailand damals bei der Erwerbung von Reliquien des heil. Lorenz, welche die Anlage eines Altars nach altchristlicher Vorschrift ermöglichten, sich auch mit Tüchern (Oranden), die durch Berührung mit dem Leichnam des Märtyrers geweiht worden waren, begnügt haben, so bleibt es doch immerhin auffallend, dafs die Kirche, die umliegenden Capellen einbegriffen, zur Zeit keinen Altar ihres Titelheiligen besitzt; der Hauptaltar ist der heil. Jungfrau geweiht.[4] Unentschieden bleibt ferner der alte Standort des Altars. Der allgemeinen Sitte gemäfs wird derselbe wie heute in der östlichen Nische sich befunden haben. Wie es aber zweifelhaft ist, dafs San Lorenzo ursprünglich zur Gemeindekirche bestimmt gewesen sei, so ist es nicht gerade ausgeschlossen, dafs der Altar, der völlig centralen Anlage des Bauwerkes entsprechend, mitten unter der Kuppel gestanden habe. Beglaubigte Beispiele einer solchen Anordnung sind freilich nicht bekannt.[5]

Doch ist es unnütz, diese Muthmafsungen weiter auszudehnen; sichere Aufschlüsse werden sich erst gewinnen lassen, sobald auch im Inneren der Kirche eine Ausgrabung, welche mir leider nicht ermöglicht wurde, stattgefunden haben wird.

Noch die muthmafslich von Alberti entworfene Wiederherstellung sollte die Plananlage des alten Gebäudes bewahren.

1) Mit den Beispielen aus dem römischen Alterthume, welche das Grundrifs-Motiv von San Lorenzo aufweisen, ist es allerdings schlecht bestellt. Die von Dehio und v. Bezold zum Vergleich genannten römischen Portiken besagen nichts für die Ausbildung eines Innenraums, und ihre Wiederherstellung des römischen Saales, welcher der Vierung von S. Maria im Capitol in Köln vorausgegangen sein soll, ist nichts weiter als eine bestechende Hypothese. Der Saal des Kaiserpalastes in Trier, welchen schon Kugler angeführt hat, besitzt als Langbau mit San Lorenzo wenig gemeinsam. Besser geeignet erscheint mir das von Canina als Jupiter-Tempel bezeichnete Bauwerk an der Via Appia, ein Quadrat von nicht ganz 10 m Seite mit drei angelehnten Halbkugel-Nischen; die Gestalt des mittleren Gewölbes ist nicht mehr mit Sicherheit zu bestimmen. L. Canina, La prima parte della Via Appia. Rom, 1853. 4°. Bd. I. Tafel XX, S. 106 bis 107.

2) Nach de Rossi, Musaici cristiani e saggi dei pavimenti delle chiese di Roma, Rom, 1872 ff. Fol. Heft XV bis XVI, besafs diese Kirche ursprünglich keine besondere Altarnische; erst später, wenngleich noch in altchristlicher Zeit wurde die vorhandene auf der Ostseite angefügt. Die drei weiteren Nischen, welche Hübsch, erw. Werk abbildet, sind erst von ihm hinzu erfunden.

1) E. Müntz, erw. Werk S. 21.

2) Acta SS. August Bd. II, S. 487 und 489. E. Le Blant, Inscriptions chrétiennes de la Gaule. Bd. I. Paris, 1856. 4°. Nr. 260.

3) Dieselbe wird 432 zum ersten Male erwähnt, in welchem Jahre der Bischof Martinianus, vermuthlich ihr Stifter, in ihr beigesetzt wurde. — S. Stefano rotondo in Rom wurde erst zwischen 468 und 483 geweiht.

4) Am Festtage des heil. Lorenz wird ein angeblich von ihm herrührendes Stück Rippe an dem modernen Altare des heil. Quiricus ausgestellt und eine Procession durch den Vorhof unternommen. — Ebenso besitzt die S. Sixtus-Capelle keinen Altar ihres Titelheiligen, dessen Fest die Geistlichkeit von San Lorenzo überhaupt nicht feiert. Dagegen ist dem heil. Hippolytus der in seiner Capelle befindliche Altar geweiht.

5) Von der Himmelfahrts-Kirche auf dem Oelberge bei Jerusalem wird im 7. Jahrhundert mitgetheilt, dafs der Altar „in orientali parte“ des kreisrunden Mittelraumes stand. Vergl. Dehio und v. Bezold, erw. Werk, S. 37. — Ebenso bezweifelt de Rossi a. a. O., dafs der ursprüngliche Altar von S. Stefano rotondo in Rom im Mittelpunkte der Kirche gestanden habe. Zugleich hat de Rossi, Bullettino di archeologia cristiana, Rom, 1880, S. 144 ff. nach Entdeckung der Apsis der Basilica severiana in Neapel mehrere Beispiele von halbkreisförmigen Altarnischen nachgewiesen, welche von einem Umgange umzogen und gegen denselben hin mit Bögen geöffnet waren. — Hübsch giebt an, dafs in der kreuzförmigen Apostelkirche in Constantinopel, der Grabstätte der kaiserlichen Familie, der Altar unter der Vierung gestanden hätte. Die Worte des Procopius besagen jedoch nur, dafs sich an dieser Stelle der Priesterraum (ἱερατεῖον) befunden habe; der Altar ist somit wieder ostwärts in der Apsis stehend zu denken.

Von dem ältesten christlichen Bau sind noch genügende Reste vorhanden, um zu erkennen, dafs der Grundplan durch die späteren Erneuerungen nicht wesentlich beeinflufst worden ist. Dagegen erlitt der Aufrifs jedesmal eine durchgreifende Umgestaltung. Glücklicherweise sind uns Beschreibungen und Aufnahmen des Zustandes vor dem Jahre 1573 überkommen, welche die Ergebnisse der Untersuchung des heutigen Gebäudes vervollständigen, sodafs wir die mittelalterliche Gestalt der Kirche ziemlich sicher wiederherstellen und von dieser Schlüsse auf die ursprüngliche Gestalt und deren Entstehungszeit zu machen imstande sind.

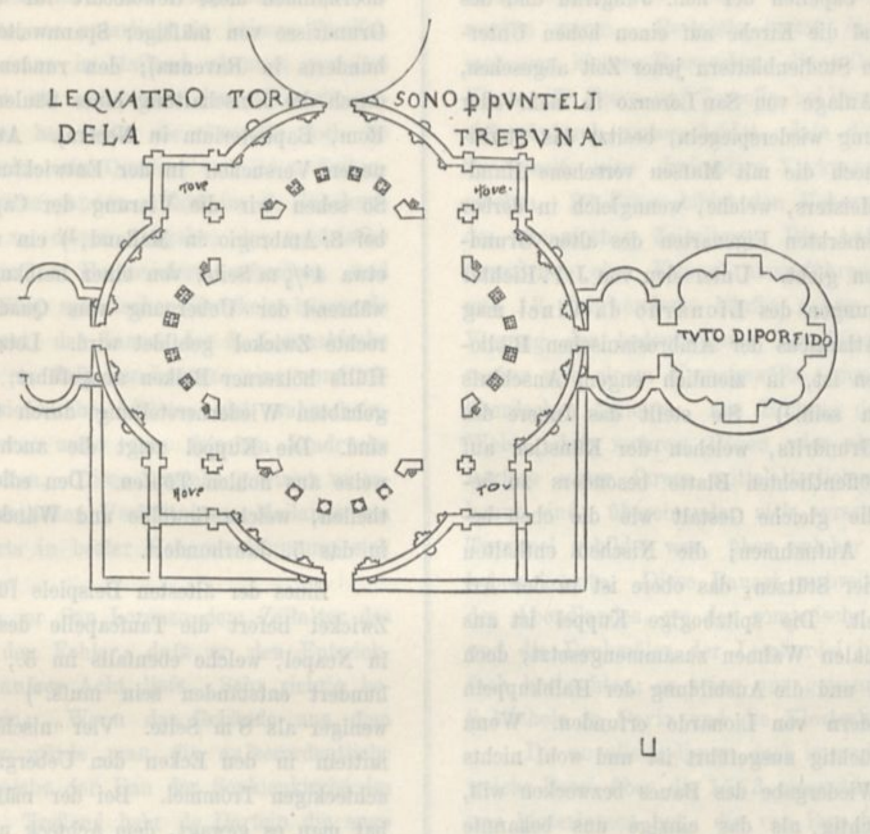


Abb. 13. Aufnahme des Giuliano da Sangallo. Oeffentliche Bibliothek in Siena. $^2/_3$ des Originals.

Eine wichtige Veränderung des Grundrisses nahm Bassi vor, indem er den ehemals quadratischen Mittelraum in ein unregelmäfsiges Achteck verwandelte. Die acht inneren, aus Haustein aufgeführten Kuppelpfeiler werden gegenwärtig durch Vorlagen verstärkt, welche die achteckige Gestalt der Kuppel schon von unten auf einleiten. Das Profil jener Vorlagen trägt das Gepräge der Spätrenaissance, welcher auch die Bögen mit der klassischen Fascie angehören, die in beiden Geschossen die benachbarten Pfeiler versteifen. Nun sagt Bassi selbst, dafs die Pfeiler des alten Baues *„senza aggiunta di lesene o risalti"* gewesen, und erklären Ambrogio Alziati und Vincenzo Seregno in ihrem Gutachten die erwähnten Vorlagen und Bögen als eine Zuthat des Bassi: *„non vi erano faccie picciole tra i pilastroni, ove ora si sono aggiunte le lesene,"* während der Bau-Ausschufs zweifelt, ob die ausgeführten Vorlagen auch ausreichend bemessen seien, *„essere grande aggiunto alli pilastri."* 1)

Dafs der Mittelraum ehemals wirklich kein Achteck, sondern ein Quadrat bildete, darüber belehren uns ferner einige noch erhaltene alte Aufnahmen. Eine derselben findet sich im Skizzenbuche des Giuliano da Sangallo auf der öffentlichen Bibliothek in Siena; die Pergamentblätter desselben sind 18 zu 12 cm bemessen. Das Doppelblatt Nr. 19 bringt einen Grundrifs von San Lorenzo samt den drei altchristlichen Capellen und den sechzehn Säulen im Corso (Abb. 13). Der Name des Bauwerkes steht nebst der Bemerkung beigeschrieben, dafs es angeblich ehemals ein Tempel des Mercur gewesen sei, und aus einer weiteren Bemerkung erhellt, dafs dem Verfasser die Sicherung der Kuppel durch die vier Thürme nicht entgangen war. Mit Zirkel und Lineal ausgeführt, ist die Zeichnung nach am Orte gefertigten Skizzen aufgetragen und in der Hauptsache als gewissenhafte Aufnahme zu betrachten, wenn auch das Einzelne unzuverlässig ist. Der Mittelraum der Kirche ist quadratisch; jede der vier Nischen enthält vier freistehende Pfeiler, deren Querschnitt verschieden behandelt ist. Die Umfassungsmauern haben aufsen runde Strebepfeiler und innen bündelartige Vorlagen, welche die heutige Gestalt der Kirche jedoch nicht zeigt, und welche, wie ich glaube, überhaupt niemals vorhanden waren. Kein blofser Zufall scheint es aber zu sein, dafs Giuliano auf demselben Doppelblatte auch eine Aufnahme des Grabmals der Galla Placidia in Ravenna eingetragen hat.

Ein anderes, nicht minder wichtiges Blatt wird in den Uffizien in Florenz unter der Sammlung von Handzeichnungen italienischer Architekten aufbewahrt und gehört unter Nr. 4848 einer Mappe mit Grundrissen an, welche der jüngere Giorgio Vasari, ein Neffe des bekannten Künstler-Biographen, gefertigt hat. Es wiederholt (Abb. 14) im allgemeinen die Auf-

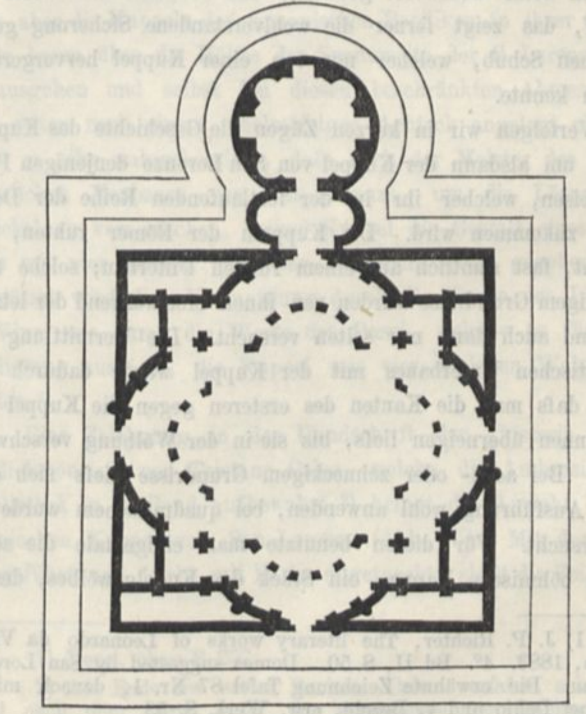


Abb. 14. Studie von Giorgio Vasari dem Jüngeren. Uffizien in Florenz $^1/_2$ des Originals.

1) Dispareri, S. 95, 107 und 102.

nahme des Giuliano da Sangallo; doch kam es dem Verfasser nicht auf eine Darstellung des Thatbestandes, sondern vielmehr auf eine Wiedergabe der gewaltigen Wirkung des ursprünglichen Baues an. Zu diesem Zwecke hat er sämtliche Anbauten der Kirche mit Ausnahme der Capellen der heil. Jungfrau und des heil. Aquilinus beseitigt und die Kirche auf einen hohen Unterbau gestellt. Von weiteren Studienblättern jener Zeit abgesehen, welche die ursprüngliche Anlage von San Lorenzo in mehr oder weniger getreuer Nachbildung wiederspiegeln, besitzt das Städtische Archiv in Mailand noch die mit Mafsen versehene Handskizze eines unbekannten Meisters, welche, wenngleich in derber Behandlung, die oben bemerkten Eigenarten des alten Grundrisses ebenfalls zu erkennen giebt. Unter den von J. P. Richter veröffentlichten Handzeichnungen des Lionardo da Vinci mag eine, welche dem Codex Atlanticus der Ambrosianischen Bibliothek in Mailand entnommen ist, in ziemlich engem Anschlufs an San Lorenzo entstanden sein.[1]) Sie stellt das Innere des Kuppelbaues dar. Der Grundrifs, welchen der Künstler auf einem anderen, nicht veröffentlichten Blatte besonders zu behandeln gedachte, zeigt die gleiche Gestalt wie die oben beschriebenen geometrischen Aufnahmen; die Nischen enthalten im unteren Geschosse je vier Stützen, das obere ist in der Art einer Zwerggalerie behandelt. Die spitzbogige Kuppel ist aus vier breiten und vier schmalen Walmen zusammengesetzt; doch ist die Bauart der Zwickel und die Ausbildung der Halbkuppeln sicher nicht die alte, sondern von Lionardo erfunden. Wenn auch die Zeichnung nur flüchtig ausgeführt ist und wohl nichts weniger als eine genaue Wiedergabe des Baues bezwecken will, so ist sie doch höchst wichtig als das einzige uns bekannte Bild, welches das frühere Innere der S. Lorenzkirche veranschaulicht.

Ist es nun für den mittelalterlichen Bau erwiesen, dafs der Raum unter der Kuppel quadratisch war, so wird auch sicher dasselbe für den ursprünglichen Bau gelten. Die Frage entsteht, wie dieses Quadrat im Anfange bedeckt war. Dafs es nicht etwa offen oder nur mit Holz bedeckt, sondern von jeher in Stein überwölbt gewesen, das beweisen die Worte des Arnulf, das zeigt ferner die wohlverstandene Sicherung gegen seitlichen Schub, welcher nur von einer Kuppel hervorgerufen werden konnte.

Verfolgen wir in kurzen Zügen die Geschichte des Kuppelbaues, um alsdann der Kuppel von San Lorenzo denjenigen Platz anzuweisen, welcher ihr in der fortlaufenden Reihe der Denkmäler zukommen wird. Die Kuppeln der Römer ruhten, wie bekannt, fast sämtlich auf einem runden Unterbau; solche über vieleckigem Grundrisse wurden von ihnen erst während der letzten Zeit und auch dann nur selten versucht. Die Vermittlung des prismatischen Unterbaues mit der Kuppel wurde dadurch bewirkt, dafs man die Kanten des ersteren gegen die Kuppel hin nach innen überneigen liefs, bis sie in der Wölbung verschwanden.[2]) Bei acht- oder zehneckigem Grundrisse liefs sich eine solche Ausführung wohl anwenden, bei quadratischem wurde sie nie versucht. Für diesen benutzte man einigemale die sogenannte böhmische Kappe, ein Stück des Kugelgewölbes, dessen Grundkreis das zu überwölbende Quadrat umschliefst, von deren Gebrauch auf italienischem Boden das kleine Grabmal an der Via Nomentana bei Rom, welches im Volke den Namen „sedia del diavolo" führt, Zeugnifs ablegt. Die christlichen Baumeister übernahmen diese Gewölbeart für quadratische und achteckige Grundrisse von mäfsiger Spannweite (die Kuppeln des 5. Jahrhunderts in Ravenna); den runden Grundrifs bereicherten sie durch die Einschaltung eines Säulenumganges (Sta Costanza bei Rom, Baptisterium in Nocera). Auch liefsen sie es nicht an neuen Versuchen in der Entwicklung des Kuppelbaues fehlen. So sehen wir die Vierung der Capelle S. Vittore in ciel d'oro bei S. Ambrogio in Mailand,[1]) ein unregelmäfsiges Quadrat von etwa $4^1/_2$ m Seite, von einer halbkugelartigen Kuppel überdeckt, während der Uebergang vom Quadrat zum Kreis durch wagerechte Zwickel gebildet wird. Letztere waren ursprünglich mit Hülfe hölzerner Balken ausgeführt, welche bei der jüngst stattgehabten Wiederherstellung durch Granitplatten ersetzt worden sind. Die Kuppel zeigt die auch anderweitig bekannte Bauweise aus hohlen Töpfen. Den edlen Mosaiken[2]) nach zu urtheilen, welche Gewölbe und Wände bedecken, gehört der Bau in das 5. Jahrhundert.

Eines der ältesten Beispiele für das Vorkommen gewölbter Zwickel liefert die Taufcapelle des alten Domes Sta Restituta in Neapel, welche ebenfalls im 5., spätestens aber im 6. Jahrhundert entstanden sein mufs.[3]) Sie bildet ein Quadrat von weniger als 8 m Seite. Vier nischenartige Zwickelgewölbe vermitteln in den Ecken den Uebergang zu einer gleichseitigen achteckigen Trommel. Bei der mäfsigen Gröfse des Bauwerkes hat man es gewagt, dem Achteck unmittelbar die runde Kuppel aufzusetzen, indem man deren Fufs eine entsprechende Verdrückung erfahren liefs. Zwickel von der gleichen Art zeigte auch die Kuppel der S. Vitalis-Kirche in Ravenna, bevor sie mit dem barocken Stuck überzogen wurde.[4])

Fast gleichzeitig mit der eben genannten Kuppel entstand diejenige der Sophienkirche in Constantinopel, welche das älteste zeitlich gesicherte Beispiel einer Hängekuppel über sphärischen Zwickeln vorstellt. Es ist nicht annehmbar, dafs diese wichtige Bauweise an jenem gewaltigen Werke zuerst versucht worden sei. Vielmehr darf man ihren Ursprung wohl im Morgenlande, der alten Heimath des Gewölbebaues, suchen, wenn auch die zur Zeit daselbst bekannten Beispiele nicht über das 6. Jahrhundert zurückreichen sollen.[5])

Die sphärische Hängekuppel, von der byzantinischen Baukunst erfunden, blieb auch in der Folge ein besonderes Kennzeichen derselben. Merkwürdig ist es, dafs ihre Anwendung bis zum Ausgange des Mittelalters hin im Abendlande nie hei-

1) J. P. Richter, The literary works of Leonardo da Vinci. London, 1883. 4°. Bd. II, S. 50. Domes suggested by San Lorenzo at Milan. Die erwähnte Zeichnung Tafel 87 Nr. 1, danach mitgetheilt bei Dehio und v. Bezold, erw. Werk, S. 53.

2) J. Durm, Baukunst der Etrusker und Römer. Darmstadt, 1885. 8°. S. 176 ff.

1) G. Landriani, La Basilica Ambrosiana fino alla sua trasformazione in chiesa lombarda a volte. Mailand, 1889. Fol. S. 41 ff.

2) Raffaele Garrucci, Storia dell' arte cristiana nei primi otto secoli della Chiesa. Prato, 1872 ff. Fol. Tafel 235 und 236.

3) Vergl. meine Mittheilung im Centralblatt der Bauverwaltung. Berlin, 1887. S. 384 ff.

4) Die in fast allen Abbildungen dargestellte Bauart der Zwickel ist wegen der mathematischen Bestimmtheit nicht ganz richtig. Alte Aufnahmen der Zwickel bei S. Barozzi, Pianta ed spaccato della celebre Chiesa di S. Vitale di Ravenna. Bologna, 1782. 4°., ferner vergl. die Aufnahmen von Antonio da Sangallo dem Jüngeren und seinem Bruder Giovanni Battista in der Sammlung architektonischer Handzeichnungen der Uffizien in Florenz, Nr. 887 und 1334.

5) A. Choisy, L'art de bâtir chez les Byzantins. Paris, 1883. Fol. S. 96.

misch wurde; wo sie allerdings seit dem 11. Jahrhundert dort in einzelnen Landstrichen auftaucht, an der Ostküste Italiens und in Aquitanien, ist ein gröfserer oder geringerer Einflufs byzantinischer Denkmäler vorauszusetzen.[1])

Ueberblicken wir die Geschichte des Kuppelbaues bis zur Ausführung der Sophienkirche, so unterliegt es keinem Zweifel, wie die Kuppel von San Lorenzo in Mailand ehemals gestaltet gewesen und zu welcher Zeit sie entstanden ist. Wie die erhaltenen Denkmäler darlegen, hat weder die römische noch die frühchristliche Zeit es versucht, ein Quadrat von 24 m Seitenlänge mit einer Kuppel zu überspannen. Erst im 6. Jahrhundert wurde das Hülfsmittel zu dieser Aufgabe, der sphärische Zwickel, von den byzantinischen Baumeistern erfunden, und keine Gewölbeart als eine über sphärischen Zwickeln hängende Kuppel scheint besser geeignet, das Innere der S. Lorenzkirche abzuschliefsen. Möglich ist es, dafs San Lorenzo eine unmittelbare Vorstufe für die Sophienkirche bildete, viel wahrscheinlicher aber ist es, San Lorenzo unter dem frischen Eindrucke derselben entstanden zu denken. Diese Ansicht gewinnt umsomehr, als sie mit den staatlichen Verhältnissen Mailands um die Mitte des 6. Jahrhunderts in bester Uebereinstimmung sich befindet.

Hübsch beging, indem er San Lorenzo dem Zeitalter des heil. Ambrosius zuschrieb, den Fehler, dafs er den Entwicklungsgang der Wölbekunst aufser Acht liefs. Sehr richtig bemerkt gegen ihn de Dartein: „Wenn das Gebäude aus dem 4. Jahrhundert stammte, so würde man die aufserordentliche Wirkung nicht verstehen, welche der Bau der Sophienkirche im 6. Jahrhundert hervorrief.“ Treffend hebt de Dartein die enge Verwandtschaft mit den Centralbauten der byzantinischen Kunst hervor. „Der Grundrifs weist alle Anzeichen eines byzantinischen Ursprungs auf. Die Anlage der Gewölbe, die Art, wie sie gestützt werden, die Exedren mit zwei Geschossen von Säulen, die Gestalt der umlaufenden Galerieen sind so viele Merkmale, welche nur dem byzantinischen Stile zukommen. Man ist überrascht von der Analogie und, so zu sagen, von dem Familienzuge, welchen die Kirche mit San Vitale in Ravenna zeigt.“ San Lorenzo ist ein Ableger von dem grofsen Baume der byzantinischen Architektur, das Erzeugnifs einer den Mailänder Baumeistern völlig fremden Kunstweise. Keineswegs aber ist es, wie Hübsch will, das Werk einer rüstigen einheimischen Bauschule. Dafs eine solche während des 4. oder 5. Jahrhunderts in Mailand bestanden hätte, davon fehlt uns jede Kenntnifs. Im Gegentheil beweist gerade die unbefangene Ausführung der Kuppel von San Vittore in ciel d'oro, wie gering in Mailand das technische Vermögen vor der Herrschaft der Byzantiner war.

Sodann aber müfste der gar zu grofse Rückschritt, welchen die Bauten der longobardischen Herrschaft gegen die hohe Vollendung von San Lorenzo bekunden, recht befremdlich erscheinen. Seit jener Zeit ging man wieder auf die einfachsten Grundrifsformen zurück und bildete die Kuppeln entweder halbkugelförmig auf rundem Unterbau oder setzte sie bei vieleckigem aus einzelnen Walmen zusammen. Die bedeutendste derselben, diejenige des alten Domes in Brescia, hat allerdings nahezu 20 m Spannweite; doch steht sie in ihrer Abmessung völlig vereinzelt

1) Die verkehrte Ausführung der sphärischen Zwickel von S. Front in Périgueux, in wagerechten über einander vorgekragten Schichten bewirkt, zeigt, wie fremd die Bauweise den abendländischen Meistern gewesen war. Vergl. Viollet-le-Duc, Dictionnaire raisonné de l'architecture. Paris, 1858 bis 1868. 8°. Coupole.

da und verräth zudem eine nicht geringe Unbehülflichkeit des entwerfenden Künstlers. Erst seit dem karolingischen Zeitalter scheinen Zwickelbauten wieder in Aufnahme gelangt zu sein; man wählte dieselben nischenartigen Gewölbe, welche bereits einige Jahrhunderte früher in Neapel und Ravenna verwendet worden waren. Beispiele bietet die Umgebung Mailands in mehreren kleinen Bauwerken. Denselben reiht sich die bekannte Kirche Sta Fosca auf Torcello bei Venedig an, welche von ihnen sich dadurch unterscheidet, dafs die auf $9^1/_2$ m vergröfserte Spannweite eine dreimalige Vorkragung in jeder Ecke nöthig machte. Sta Fosca bildet den Uebergang zu den Hängekuppeln des romanischen Zeitalters. Die Aufgabe, über quadratischem Grundrisse eine Kuppel auszuführen, wurde während des 12. und 13. Jahrhunderts häufig genug gestellt, seitdem man die Vierung der bedeutenderen Langhaus-Kirchen nicht mehr wie vorher mit einem Kreuzgewölbe, sondern mit einer Kuppel zu überdecken beliebte. Die Bildung der Zwickel erfolgte in der Weise, dafs mehrere Bögen oder nischenartige Gewölbe, welch letztere unter ihrem mittelalterlichen Namen „Trompen“ bekannt sind, übereinander sich vorschoben, bis eine achtseitige Trommel gebildet war, über welcher eine Walmkuppel sich erheben konnte. Diese Bauart verbreitete sich in allen Ländern des Abendlandes, wo der romanische Gewölbebau Eingang fand, und die Denkmäler der Lombardei insbesondere lassen sie vielfach beobachten; es seien nur genannt S. Ambrogio in Mailand, S. Michele in Pavia und die Klosterkirche von Chiaravalle.

Die unvollständigen, doch immerhin genügenden Aufschlüsse, welche Bassi über die 1573 eingestürzte Kuppel von San Lorenzo uns hinterlassen hat, die von ihm hervorgehobene Aehnlichkeit mit derjenigen der S. Ambrosiuskirche versichern uns, dafs sie der eben beschriebenen Bauweise entsprach und also dem romanischen Neubau angehörte. Die Kuppel von S. Ambrogio wurde nach de Dartein im Anfange des 13. Jahrhunderts ausgeführt; der gleichen Zeit mag auch diejenige in Chiaravalle angehören. Wann die Kuppel von San Lorenzo gebaut worden ist, wissen wir nicht, vermuthlich aber nicht vor der Mitte des 12. Jahrhunderts; jedenfalls steht sie zeitlich den anderen nicht fern. Wie aber die Kuppeln der romanischen Basiliken in ihrer Spannweite kaum über die Hälfte der Spannweite der S. Lorenzkuppel hinausgehen und selbst bei diesen beschränkten Abmessungen nur selten nach einem regelmäfsigen Achteck angelegt sind, so wird es sehr wahrscheinlich, dafs auch der Meister des mittelalterlichen Neubaues von San Lorenzo, um die Lösung der Zwickel zu vereinfachen, seiner Kuppel die Gestalt eines Achtecks mit vier langen und vier schmalen Seiten gegeben habe. Bestätigt wird diese Vermuthung durch die Skizze des Lionardo da Vinci wie durch die Worte des Bassi, welcher es für seine Erfindung ausgiebt, die Kuppel aus vier gleichen Walmen zu bilden.[1])

Eine Zeichnung in der Handschrift der „historia patriae Mediolanensis“ von Tristano Calco, welche die Ambrosianische Bibliothek in Mailand aufbewahrt,[2]) bringt die Ansicht der romanischen Kuppel von San Lorenzo (Abb. 15). Mit der Feder ausgeführt und leicht mit Farbe angetuscht, stellt die Zeichnung

1) Vergl. oben S. 207.

2) Am Ende des ersten Buches. Calco verfafste sein Werk bald nach dem Jahre 1494. Die Wiedergabe der Zeichnung bei Gratiolius, erw. Werk, enthält einige nicht unbedeutende Veränderungen.

dar, wie Kaiser Maximian die Reichsabzeichen vor einer grofsen Menge von Edlen zurückgiebt. Hinter der Gruppe wird die römische Säulenreihe und über derselben die Kuppel von San Lorenzo nebst den beiden vorderen Thürmen sichtbar. Von un-

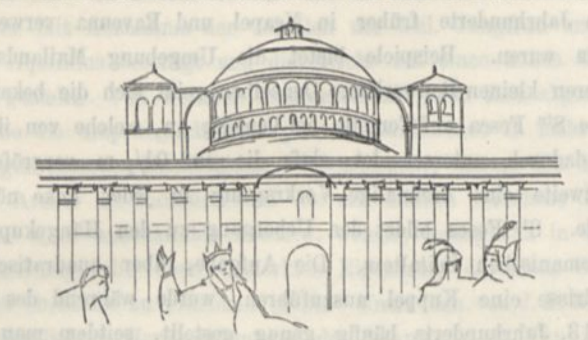


Abb. 15.
Zeichnung von S. Lorenzo aus der Handschrift des Tristano Calco.
Ambrosianische Bibliothek in Mailand.

kundiger Hand gefertigt, darf die Wiedergabe des Baues nicht als durchweg glaubwürdig betrachtet werden, wie denn die kreisförmige Gestalt der Trommel und der runde Umrifs der Kuppel sicherlich falsch sind. Die Kuppel ist mit einer Laterne im Scheitel bekrönt; die Trommel umziehen zwei unklar behandelte Bogenreihen. Obgleich die Gestalt der Thurmöffnungen und die der Strebebögen, welche die Kuppel mit den Thürmen verbinden, nicht ganz den am Bau vorgefundenen Resten gemäfs dargestellt sind, so bezeugen sie doch, dafs der Verfasser der Zeichnung sich bemüht hat, die eigenartigen Merkmale der Kirche zur Anschauung zu bringen. Die von Calco gezeichnete Laterne der Kuppel möchte wohl noch dem romanischen Neubau angehören und nicht etwa eine Zuthat der Gothik oder der Frührenaissance sein.

Solches sind die Veränderungen, welche die Kuppel und der unter ihr befindliche Raum im Laufe der Zeit erlitten haben. Es bleibt noch zu bemerken übrig, dafs irgend welche weitere Umgestaltung von Belang mit dem Grundrisse niemals vorgenommen wurde. Hübsch glaubte, dafs die Anordnung von vier Stützen in dem unteren Geschosse jeder Nische nicht die ursprüngliche sei, sondern erst von Bassi herrühre. Seine Behauptung, dafs die heutigen engen Verhältnisse dem Sinne der altchristlichen Baukunst zuwider wären, steht aber mit den Denkmälern nicht im Einklange. Allerdings war es auch der Wunsch Bassis, nur zwei Stützen in jeder Nische aufzustellen, wie Hübsch in seiner Wiederherstellung annimmt. Dafs aber die gegenwärtige Anordnung schon vor dem Jahre 1573 vorhanden war, das beweisen Bassis eigne Worte: „*lasciare i cinque campi, che si sono eseguiti*“ [1]), das beweisen ferner die uns erhaltenen Aufnahmen des alten Zustandes der Kirche.

Wollen wir nach den vorstehend entwickelten Gesichtspunkten die zeichnerische Wiederherstellung der byzantinischen und der romanischen Gestalt von San Lorenzo [2]) versuchen, so haben wir folgende Stücke als gegeben zu betrachten. Der Fufsboden mufs bereits seit dem 6. Jahrhundert annähernd mit dem heutigen übereingestimmt haben. Die Höhen der unteren und der oberen Stützen jeder Nische sind für beide Bauten durch die Kämpfer der theils byzantinischen, theils romanischen Gurtbögen und Kreuzgewölbe bedingt, welche man in den beiden unteren Geschossen der Thürme bemerkt. Als

1) Vergl. oben S. 207.
2) Vergl. Blatt 35.

Bedingungen für die Höhenentwicklung der Kirche sind ferner die Lage des Hauptgesimses und die Dachneigung der Abseiten gesichert, welche, wie ausgeführt wurde, für beide Bauten dieselben waren, sodann endlich der äufsere quadratische Unterbau der byzantinischen und der romanischen Kuppel.

Wie nachweislich bereits am romanischen Bau jeder der unteren Umgänge entsprechend den äufseren Strebepfeilern von vier Stützen getheilt war, so habe ich dieselbe Anordnung auch für die ursprüngliche Gestalt wiedergewählt. Da nun Arnulf im Jahre 1071 ausdrücklich von „Säulen mit Basen“ spricht, [1]) die achteckige Gestalt der erhaltenen Pfeiler aber weit eher dem Formenschatze des Mittelalters als dem der altchristlichen Zeit angehören dürfte, so habe ich für den ursprünglichen Bau Säulen angenommen, zu denen die noch theilweise vorhandenen antiken korinthischen und compositen Capitelle in ihren Abmessungen trefflich passen. Für den mittelalterlichen Bau dagegen habe ich in allen Nischen achteckige Pfeiler, den erhaltenen entsprechend, verwendet. Die Ansicht des oberen Umganges fällt beide Male ziemlich niedrig aus. Doch ist für den mittelalterlichen Bau seine Gestalt auch durch die erwähnte Zeichnung des Lionardo wie durch die Beschreibung des Bassi festgestellt, welcher die oberen Stützen als „Säulchen“ (colonnette) bezeichnet. Bei der Wiederherstellung des genannten Baues habe ich über jeder unteren Stütze einen Pfeiler — ähnlich dem heutigen Aufrifs der nördlichen und der südlichen Nische — und über jeder unteren Zwischenweite eine Säule aufgestellt. Für die ursprüngliche Architektur der Nischen aber habe ich ein System gewählt, welches in der Sophienkirche in Constantinopel vorkommt, und über den vier Säulen des Erdgeschosses deren sechs Stück in der Empore angeordnet. Kämpfersteine von der in altchristlicher und romanischer Zeit üblichen Art vermitteln den Uebergang von den Säulen auf die Dicke der sie verbindenden Bögen. Die Gewölbe der Abseiten sind als Tonnen mit Stichkappen angenommen. Die Gurtbögen, welche man heute auf der Rückseite der acht inneren Kuppelpfeiler sieht, werden erst bei dem mittelalterlichen Neubau angebracht worden sein, wenngleich ihre gegenwärtige Gestalt eine neuere ist. Die im Erdgeschofs noch theilweise vorhandenen halbkreisförmigen Dienste mit einem Durchmesser von zumeist 38 cm, sowie ein zur Zeit auf der nördlichen Empore befindliches Capitell, welches sehr wohl dem 12. Jahrhundert entstammen kann und einer Halbsäule von 31 cm Durchmesser angehörte (Blatt 33, Nr. VIII), sichern uns die ehemalige Gestalt der Pfeiler für beide Geschosse, während die auf ihnen ruhenden Gurtbögen einen einfachen rechteckigen Querschnitt besessen haben werden.

Die Höhe der byzantinischen Kuppel ergiebt sich durch die sphärischen Zwickel von selbst; im weiteren gab S. Vitale in Ravenna für die äufsere Gestalt der Kuppel und die Anlage der Fenster das Vorbild ab. Für die Höhenentwicklung der mittelalterlichen Kuppel liegen glücklicherweise einige schriftliche Angaben vor. Zunächst bezeichnet der eben erwähnte Tristano Calco die S. Lorenzkirche als „*Romano Pantheo altitudine par sex et septuaginta brachiorum, latitudine eo quatuor amplius.*“ Da die alte Mailänder Elle 0,5949 m entsprach, ferner die Kuppel des Pantheons eine Spannweite von 43,5 m hat, [2]) so folgt zunächst die Breitenausdehnung gleich 46 m und beweist,

1) Vergl. oben S. 203.
2) Nach C. E. Isabelle, Les édifices circulaires et les dômes. Paris, 1855. Fol.

da der gröfste Abstand der Umfassungsmauern zweier gegenüber liegenden Nischen in Wahrheit 46,25 m beträgt, dafs die angegebenen Abmessungen auf das Innere zu beziehen sind. Das Höhenmafs ergiebt sich gleich 45 m, während das Pantheon bis zur Oberkante der Scheitelöffnung 44,4 m mifst.

Ein Studienblatt des bolognesischen Architekten Antonio de Vincenti, welches zur Zeit im Archive der Kirche S. Petronio in Bologna aufbewahrt wird, trägt ferner die Bemerkung:

alteza de San Lorenzo de Milano sie braza LXXVI
largeza de ditta chiesa sie braza otanta. [1])

De Vincenti, welcher 1390 den Auftrag erhalten hatte, das Modell für San Petronio zu fertigen, hatte es für gut befunden, sich zuvor nach Mailand zu begeben, hier den in der Ausführung begriffenen Dom zu studiren und sich die Hauptmafse der Kuppel von San Lorenzo zu verschaffen, von welcher er jedenfalls Anregungen für die Vierung seines Bauwerkes zu gewinnen hoffte. So mag es sich erklären, dafs das Breitenmafs, welches in der mitgetheilten Länge von 80 Ellen (47,60 m) in keiner Weise an San Lorenzo wiederkehrt, dem Künstler bereits in einer runden Angabe genügte, während er das Höhenmafs genau, und insbesondere auch mit der etwa hundert Jahre jüngeren Aufnahme des Tristano Calco übereinstimmend vermerkte.

Auf dem bereits erwähnten, von einem unbekannten Verfasser gezeichneten Grundrisse von San Lorenzo im Städtischen Archive zu Mailand [2]) liest man hingegen:

Sto Laurencio a milano

Alto sino ala cima deli archi . .	Br. 40	(23,80 m),
de drito	Br. 8	(4,75 m),
La cupola	Br. 30	(17,85 m),
	78	(46,40 m).

Auffällig, wenn auch nicht gerade von Belang, ist der Unterschied des gesamten Höhenmafses gegen die beiden vorigen Aufnahmen. Besonders zu danken aber ist es, dafs uns die Höhe des Scheitels jener bogenförmigen Auskragungen, welche die vier schmalen Walme der Kuppel trugen, sowie des Kämpfers der Kuppel annähernd überliefert sind, und dafs das von Calco und de Vincenti gemeldete Gesamtmafs als bis zum Scheitel der Kuppel — nicht etwa bis in die Laterne hinein — bezüglich festgestellt wird. Damit ist das Bild der romanischen Kuppel von San Lorenzo in den Hauptzügen unabänderlich bestimmt. Die sich ergebende spitzbogige Gestalt der Kuppel erinnert an andere Denkmäler Italiens aus demselben Zeitalter, [3]) die allgemeinen Raumverhältnisse aber erinnern an die Vierung des Domes von Florenz, in welcher die Leistungen des Mittelalters auf dem Gebiete des Kuppelbaues noch einmal schöpferisch zusammengefafst wurden. Gewifs darf man auch wohl die Kuppel von San Lorenzo in der Art dieser Bauwerke ausgeführt denken, sodafs kleinere kegel- oder tonnenartige Gewölbe den Raum zwischen Kuppel und Dachfläche füllten und auf ihrem eben abgeglichenen Rücken die Metalldeckung aufnahmen. [4]) Wie schon an der Hand alter Reste nachgewiesen wurde, ruhten die beiden älteren Kuppeln von San Lorenzo im Gegensatze zur heutigen aufsen auf einem quadratischen Unterbau, gegen welchen die Dächer der Abseiten anliefen (Abb. 16).



Abb. 16. Aeufseres des byzantinischen Baues.

Lehrreich ist es, die Gestalten zu vergleichen, welche man der Kuppel zu den verschiedenen Zeiten gegeben hat. Man erkennt, wie weit die byzantinischen Meister denen des Mittelalters und des Barocks überlegen waren. Den Seitenschub fürchtend, gab man der Kuppel im 12. Jahrhundert eine spitzbogige Linie. Der gleiche Grund veranlafste im 16. Jahrhundert, dafs man die Kuppel nicht nur wiederum spitzbogig, sondern sogar noch steiler als die untergegangene ausführte. Allerdings war die Aufgabe keine leichte. Die Stärke der vor den Nischen befindlichen Gurtbögen, auf welchen die Kuppel ruht, beträgt noch nicht 1 : 15 der lichten Spannweite der letzteren. Am heutigen Bau ist durch Ueberkragung der Fufskranz der Kuppel auf 1 : 14 der Spannweite gebracht. Die Kuppel der Sophienkirche in Constantinopel, welche man sonst als die kühnste der alten Kuppeln zu betrachten gewohnt ist, hat im Fufse 1 : 12 der Spannweite zur Stärke. [1]) Doch ist derselbe von zahlreichen Fenstern durchbrochen und entbehrt der belastenden Trommel, welche San Lorenzo von jeher besafs. Immerhin hat aber die Kuppel von S. Vitale in Ravenna ein Widerlager von 1 : 11 der Spannweite. [2]) Sollten es nicht schon die Zeitangaben erhellen, so müfsten die mitgetheilten Zahlenwerthe beweisen, welches Verhältnifs die genannten drei Bauwerke bezüglich ihrer Entstehung zu einander einnehmen.

IV. Werthschätzung des Bauwerks und sein Einflufs auf die spätere Architektur.

Wie verschieden auch immerhin die Ansichten über die Entstehung von San Lorenzo auseinander gehen mögen, so sind sich doch alle Forscher darin einig, dafs sie der wunderbaren Vollkommenheit des Innenraumes eine unbeschränkte Anerkennung zollen. „An glänzendem perspectivischen Reichthum“, urtheilt Jakob Burckhardt, der geschätzte Kenner italienischer Kunst, „können sich wenige Gebäude mit diesem messen, ja es möchte einer der herrlichsten Innenräume der Welt sein, so unscheinbar seine Einzelformen jetzt wirken mögen.“ Vier

1) Dieses Blatt wurde veröffentlicht von L. Beltrami in der Raccolta Milanese di storia, geografia ed arte. Mailand, December 1887 und Januar 1888; vergl. Centralblatt der Bauverwaltung 1888, S. 175.

2) Vergl. oben S. 299.

3) Für Hübsch war die spitzbogige Gestalt der Kuppel kein Zeugnifs gegen den altchristlichen Ursprung. Aber seine Behauptungen betreffend die Bauzeit des Baptisteriums von Florenz, auf dessen gleiche Kuppelgestalt er sich beruft, sind ebenso willkürlich wie diejenigen über San Lorenzo.

4) Vergl. J. Durm über die Baptisterien in Cremona und Florenz in der Zeitschrift für Bauwesen, 1887, S. 371 und Blatt 37; G. Landriani über die Chorkuppel von San Ambrogio in Mailand erw. Werk S. 11.

1) Nach W. Salzenberg, Altchristliche Baudenkmale von Constantinopel. Berlin, 1854. Ernst & Korn. Fol. und 4°.

2) Nach C. E. Isabelle, erw. Werk.

grofse Nischen beleben den Raum, ohne ihm etwas von seiner Machtwirkung zu nehmen; wären ihrer acht, wie bei S. Vitale in Ravenna, so würde dasselbe Motiv kleinlich und verwirrend ausfallen. Sehr günstig werden durch den flachbogigen Grundrifs der Nischen die Verkürzungen genommen, welche bei einem Halbkreise sich unangenehm bemerkbar machen würden. Der doppelte Säulen-Umgang, unten grofs, oben klein, macht das Ganze luftig und leicht. Sofort beim Eintritt wird der Beschauer überrascht, wenn durch die Zwischenweiten der vorderen Säulen sich im Hintergrunde der Hauptraum zeigt; und wandert er weiter, so bietet sich ihm beständig ein neues Bild von dem Gebäude dar, für dessen Gröfse die Säulen einen Mafsstab abgeben.[1]) Dabei ist das Ganze hell erleuchtet, während die Fenster der Nischen dem Anblicke entzogen sind und nur diejenigen der Kuppel zur Erscheinung kommen.[2]) Dieses unvergleichliche Gebäude denke man sich in dem Schmucke farbenprächtiger Täfelungen und Mosaiken strahlend, und man wird die überschwängliche Bewunderung der Alten verstehen. Der Unverstand späterer Zeiten hat leider an San Lorenzo wie an wenigen anderen Bauwerken gesündigt. Doch so spröde und kalt der Raum heute anmuthen mag, „es ist doch die stille Gröfse vollendeter Raumentfaltung, welche über alle Mängel der Ausführung hinweg ihren siegreichen Zauber walten läfst."

Die rein centrale Anlage des Gebäudes ermöglicht eine unübertreffliche statische Sicherung. Dem Schub der Kuppel wirken an den Seiten des Quadrats die Halbkuppeln entgegen, welche wieder durch die sie umgebenden Umgänge an einem Ausweichen verhindert werden. Der nach der Diagonale sich äufsernde Schub wird von den Eckbauten aufgenommen, deren Thätigkeit sich noch mehr aussprach, seit sie thurmartig erhöht wurden. Kräftige Strebepfeiler versteifen die Umfassungsmauern gegen den Schub, welchen die Gewölbe der Abseiten ausüben. So zeigt das bauliche Gerüst eine wohldurchdachte Gliederung, welche man sonst als eine erst in weit späterer Zeit errungene Höhe der Baukunst zu betrachten gewohnt ist. Als Grundlagen, auf welchen eine so vollendete Bauweise hatte entstehen können, sind neben den bei früheren byzantinischen Centralkirchen gemachten Erfahrungen die römischen Bauwerke Oberitaliens nicht zu vergessen, welche damals noch vollzählig vorhanden waren, gegenwärtig aber bis auf eine geringe Zahl untergegangen sind. Insbesondere möchte der reiche Gebrauch der Strebepfeiler auf römische Vorbilder zurückzuführen sein. Die einzigen in Oberitalien erhaltenen Beispiele von solchen zeigt das wohl der augusteischen Zeit angehörende Theater in Aosta, dessen Strebepfeiler eine Tiefe von 1,70 m bei einer Breite von 1,20 m besitzen.[3])

Die Erbschaft eines so sinnreichen Gewölbebaues konnte nicht ohne Nutzen für die Baukunst der Lombardei bleiben. Zunächst machte San Lorenzo zwar ebensowenig Schule wie die Sophienkirche. Wenn aber die romanische Wölbekunst ihren Ausgang zweifellos in der Lombardei genommen haben wird, so wird zu dieser Errungenschaft das Vorbild der Kreuzgewölbe und Strebepfeiler von San Lorenzo sicher beigetragen haben. In Anschlufs an die Planbildung von San Lorenzo entstanden sodann jene Nischen, welche man in Mailand und in der weiteren Umgebung dieser Stadt beinahe ohne Ausnahme an den Giebelseiten des Querschiffes der kreuzförmig angelegten Kirchen bemerkt, mögen diese dem romanischen oder dem gothischen Stile oder erst der Renaissancezeit angehören. Bald nehmen diese Nischen die ganze Breite des Querschiffes in Anspruch, bald sind sie nur so grofs bemessen, um einem Altare Platz zu bieten. Von den Kirchen der Renaissance zeigen wohl S[ta] Maria delle grazie in Mailand und der Dom in Como jenes Motiv am grofsartigsten; in ganz besonders enger Verwandtschaft lassen es aber die östlichen Theile der romanischen Kirche S. Fedele in Como erkennen, welche sogar die Umgänge und die Emporen wiederholen. Wie aber gerade in Como nordische und südliche Einflüsse während des Mittelalters einander begegnen, so ist es vielleicht mehr als eine blofse Vermuthung, dafs diese Kirche den stilistisch jüngeren Kirchen des Niederrheins (S. Maria im Capitol, S. Aposteln u. a. in Köln, Bonn, Rörmond), welche nach ganz verwandtem Grundrisse erbaut sind, die Anlage des Urbildes übermittelt habe.

Die Wiederbelebung des klassischen Alterthums gab der gesamten künstlerischen und wissenschaftlichen Thätigkeit eine neue Gestalt; sie war es auch, welche den Grund zur Erforschung der antiken Denkmäler legte. Den letzteren zählte man San Lorenzo in Mailand bei. Der Dichter Fazio degli Uberti, ein Zeitgenosse des Petrarca, glaubte sich, als er das damals bereits erneuerte Bauwerk besuchte, nach Rom versetzt,[1]) während der gelehrte Tristano Calco es dem Pantheon gleichstellte. Dieser und andere humanistisch gebildete Geschichtsforscher Mailands bemühten sich die ursprüngliche Bestimmung von San Lorenzo zu erforschen.

Seit dem Ausgange des 14. Jahrhunderts befleifsigten sich auch die Architekten, Aufnahmen von den erhaltenen Bauresten der römischen und der ihr verwandten altchristlichen Kunst zu fertigen. Der Centralbau, „das Letzte im Reiche der absoluten Bauformen wie der griechische Tempel das Erste", wurde das Ideal der Renaissance, und mit besonderem Eifer vermafs man, wie die erhaltenen Handzeichnungen beweisen, nicht allein die heidnischen Kuppelbauten, sondern auch S[ta] Costanza in Rom und S. Vitale in Ravenna, ja selbst von der Sophienkirche in Constantinopel suchte man genaue Kenntnifs zu erlangen. Es überrascht daher nicht, dafs wir auch von San Lorenzo in Mailand verschiedene Aufnahmen unter den genannten Zeichnungen finden.

Von den Aufnahmen des Antonio de Vincenti aus Bologna, des Giuliano da Sangallo sowie des jüngeren Vasari wurde bereits gesprochen, wie auch von einer Skizze des Lionardo da Vinci, welche höchst wahrscheinlich das Innere der Kirche wiedergiebt.[2]) Unter den Centralbau-Studien dieses Meisters, denen die letztere Zeichnung angehört, läfst sich eine umfangreiche Gruppe von solchen ausscheiden, welche das Vorbild von San Lorenzo erkennbar wiederspiegeln. Sie bekunden, wie ein-

1) Denselben Zweck erfüllen die Säulen im Innern des römischen Pantheons. S. Peter aber hat mit dem Wegfall der von Bramante zugedachten Säulen-Umgänge in den Apsiden die Gröfse der Raumwirkung verloren. Vergl. H. v. Geymüller, Die ursprünglichen Entwürfe für S. Peter in Rom. Wien und Paris, 1875. Fol. und 4°. S. 344.

2) J. Burckhardt rühmt den Gegensatz zwischen dem dunklen unteren und dem hellen oberen Umgange. Ursprünglich, als die Fenster des Erdgeschosses noch offen waren, war aber auch der untere Umgang hell.

3) Carlo Promis, Le antichità di Aosta. Turin, 1862. 4° und Fol.

1) Fazio degli Uberti, Dittamondo, herausgegeben Venedig, 1820 und Mailand, 1826. Buch III, Cap. 4.

2) Vergl. oben S. 297 ff. und S. 305.

gehend Lionardo, welcher ja den besten Theil seines Lebens in Mailand verbrachte, das Wesen des Bauwerks sich klar gemacht hatte und welch mannigfaltige Bildungen, seien es reine Centralbauten, seien es Verbindungen von Central- mit Langbauten, eine reiche Erfindungskraft aus jenem Vorbilde zu entwickeln vermag. Dafs man die Bedeutung der S. Lorenzkirche noch nicht vergessen hatte, selbst als die Blüthe der Renaissance schon vorüber war, zeigt uns eine Aufnahme des Bassischen Neubaues, welche unter Nr. 190 der Bauzeichnungen der Uffizien sich befindet und, nach der Handschrift zu urtheilen, von Vincenzo Scamozzi gefertigt ist. Auf einem Blatte von 30 zu 21 cm Gröfse giebt sie in sorgfältiger Darstellung den Grundrifs, den Quer- und auch den Diagonalschnitt; die spitzbogige Kuppellinie ist steiler als die ausgeführte, die Thürme sind in barocker Erneuerung gezeichnet.

Die Studien nach San Lorenzo lassen sich aber nicht allein auf dem Papier verfolgen; vielmehr verrathen die zahlreichen Kuppelbauten, welche während der schönsten Zeit der italienischen Renaissance entstanden, deutlich den Einflufs dieses Wunderbaues. Brunellesco, welcher den Centralbau zu neuem Leben erweckt hatte, hatte ihn immerhin nur für die Anlage von Capellen, doch sowohl von quadratischem als auch vieleckigem Grundrisse, benutzt. Alberti, welchem zuerst die Aufgabe zugefallen war, Kuppeln von bedeutenden Abmessungen auszuführen, war auf die einfachen, von einem runden Unterbau getragenen römischen Vorbilder zurückgegangen. Die höhere Entwicklung des Centralbaues geschah erst von Mailand aus durch Bramante, welcher mehr als zwanzig Jahre dieser Stadt angehörte. Die Capelle S. Pietro Martire bei S. Eustorgio, von Michelozzo in den Jahren 1462 bis 66 ausgeführt, ist zwar noch unter dem Eindrucke der Bauten des Brunellesco entstanden. Aber die von Bramante entworfene Sacristei von S. Satiro zeigt bereits die wichtige Einführung eines offenen oberen Umganges. Die zweigeschossige Anlage bleibt eine Eigenart der Centralbauten, welche von dem Meister selbst wie von seinen Schülern, sämtlich mit der Bestimmung als Gemeindekirchen, in der Umgebung Mailands ausgeführt wurden. Verschiedene dieser Gebäude, wie Sta Maria di Canepanova in Pavia, S. Magno in Legnano, Sta Maria di Piazza in Busto Arsizio sind im Erdgeschosse quadratisch angelegt, während halbe Kreuzgewölbe in den Ecken den Uebergang zu einer regelmäfsigen achteckigen Empore bilden, über der eine Walmkuppel sich erhebt. Auch der Kuppelraum des Domes in Pavia zeigt eine verwandte Gestalt. Die doppelten Geschosse, die achteckige Kuppel über quadratischem Grundrisse fanden wir bereits am mittelalterlichen Bau von San Lorenzo, und eine freie Wiederholung seiner Anlage haben wir in den erwähnten Bauwerken zu erkennen.

Nach Rom berufen, wurde dem Bramante die erhabene Aufgabe zu theil, in dem Neubau von S. Peter den gewaltigsten Centralbau und zugleich das grofsartigste Denkmal der Renaissance erstehen zu lassen. In welch inniger Beziehung Bramantes Entwurf zu San Lorenzo steht, hat bereits H. v. Geymüller ausführlich dargelegt. „Die Eingebung zur Gesamtanlage der Peterskirche entsprang aus dem lebhaften Eindrucke, welchen Bramante in frühen Jahren schon in San Lorenzo in Mailand mit seiner Kuppel auf vier Apsiden mit doppelten Umgängen ruhend, von vier Eckthürmen begleitet, empfangen hatte.“ Eine augenscheinliche Bestätigung dieser Annahme darf man in der Skizze des halben Grundrisses von San Lorenzo erblicken, welchen der Künstler neben einem seiner Entwürfe aus dem Gedächtnifs hingeworfen hat.[1]) Nachdem die Absichten Bramantes leider aufgegeben wurden, läfst sich die Schönheit seines Baues nur noch in den Denkmälern nachempfinden, welche unter dessen mächtigem Eindrucke in Todi, Parma und Genua entstanden.

Eine geistreiche Weiterbildung des Centralbaues nach den in San Lorenzo gebotenen Grundgedanken zeigen ferner die schönen Entwürfe, welche Vincenzo Seregno für den Neubau von S. Vittore in Mailand um die Mitte des 16. Jahrhunderts erfand. Die Kirche wurde allerdings dem inzwischen geänderten Zeitgeschmack zufolge als Langbau gewünscht; doch hat der Künstler die Vierung durch einen mächtigen Kuppelbau betont, dessen Plangestalt in den verschiedenen Zeichnungen wechselnde und reizvolle Durchblicke darbietet. Leider gelangte keiner dieser Entwürfe zur Ausführung.[2]) Mit dem Siege des Langbaues über den Centralbau wurde der Pflege des letzteren der Boden entzogen. Tief zu bedauern bleibt es, dafs die Erneuerung der S. Lorenzkirche in eine Zeit fiel, welche für den Centralbau sich nicht mehr zu begeistern vermochte. Fürwahr keine schönere Aufgabe hätte einem Lionardo oder Bramante gestellt werden können als die würdige Wiederaufrichtung desjenigen Denkmals, dessen Vorbild sie zu den edelsten Schöpfungen begeistert hatte; und keine Zeit als die ihrige wäre wohl mehr befähigt gewesen, dieses Unternehmen mit aller Thatkraft durchzuführen.

Der Werth, welchen die Kirche für den schaffenden Baumeister besitzt, ist aber darum kein geringerer geworden. Abgesehen davon, dafs sie zu allen Zeiten als ein Muster der Raumkunst Geltung behalten wird, würde sie noch besonderen Werth gewinnen, wenn es gelingen sollte, für das protestantische Kirchengebäude eine eigenartige Gestalt zu finden. Die schwierigen Forderungen, welche der Gottesdienst dadurch entgegenstellt, dafs er der Predigt eine alle übrigen kirchlichen Handlungen weit überragende Bedeutung zulegt, zeigt San Lorenzo in vollendeter Weise gelöst.[3])

B. Die Capelle S. Sisto.

Aus einem Epigramme des Ennodius[4]) erfahren wir, dafs Bischof Laurentius I. (490 bis 512) die Capelle S. Sisto gegründet habe, indem er ein Gelöbnifs des heil. Lorenz erfüllen wollte, seinem ihm im Tode vorausgegangenen Bischof S. Sixtus eine Kirche zu weihen. Da aber Laurentius nicht in der S. Sixtus-Capelle, sondern in der des heil. Cassianus — d. h. in S. Ippolito — beigesetzt wurde, während doch ein jeder Bischof damals

1) H. v. Geymüller, erw. Werk, Tafel 17, Abb. 1.

2) Vergl. die erwähnte Sammlung von Bauzeichnungen auf dem Städtischen Archive in Mailand, Band V. Die beiden schönsten Entwürfe sind veröffentlicht in H. Strack, Central- und Kuppelkirchen der Renaissance in Italien. Berlin, 1882. Fol. u. 4°. S. 19. (Sonderdruck aus der „Zeitschrift für Bauwesen“.)

3) Gleichsam aus Studien der S. Lorenzkirche hervorgegangen scheint der im Jahre 1844 gefertigte, aber nicht ausgeführte Entwurf Gottfried Sempers für die S. Nicolaikirche in Hamburg. Vergl. K. Lipsius, Gottfried Semper in seiner Bedeutung als Architekt. Berlin, 1880. 8°. S. 56 ff.

4) Mon. Germ. hist. Magni Felicis Ennodi opera. Berlin, 1885. S. 120. XCVI. Versus in Basilica S. Syxti Episcopi facti et scripti, quam Laurentius Episcopus fecit. — Ennodius starb im Jahre 521 als Bischof von Pavia.

in der von ihm ausgeführten Kirche bestattet zu werden pflegte, so knüpft Oltrocchi[1]) an diesen Umstand die nicht unglaubliche Vermuthung, dafs S. Sisto bei dem Tode des Bischofs Laurentius noch nicht vollendet gewesen sei. Im Jahre 518 wurde dagegen sein Nachfolger Eustorgius II. in der Capelle beigesetzt.

S. Sisto hat gegenwärtig von der Piazza della Vetra her einen besonderen Eingang mit vorgelegten, seit mehreren Jahren veränderten Stufen. Dem 17. Jahrhundert angehörend, vermittelt derselbe die schiefe Richtung der Strafsenflucht zur Achse der Capelle. Dafs an dieser Stelle von Alters her ein Eingang vorhanden war, ist zwar von verschiedenen Forschern angenommen worden; doch ist zu bemerken, dafs irgend welche Gründe dafür keineswegs vorliegen. Der Fufsboden, welcher die alte Höhenlage annähernd bewahrt haben mag, befindet sich 1,17 m unterhalb desjenigen der Kirche, zu welcher man einige weitere Stufen hinansteigt. Die Capelle bildet ein Achteck, welches ursprünglich durch einen Wechsel halbkreisförmiger und rechteckiger Nischen sich erweiterte. In neuerer Zeit wurden zwei seitliche Capellen hinzugefügt, im Osten die der heil. Anna, im Westen die Taufcapelle. Das Gewölbe stellt sich als eine Kuppel dar, deren Fufs in die Ecken des Unterbaues übergeht. Möglich ist es, dafs die Kuppel ursprünglich wie diejenige von S. Aquilino sich aus einzelnen Walmen zusammensetzte und die gegenwärtige Gestalt jener Zeit angehört, als man das die Kuppel bedeckende Frescogemälde ausführte. Da aber diese Gestalt auch während des Ausganges der römischen Baukunst vorkommt, so liegt anderseits kein Grund vor, an ihrem Alter zu zweifeln. Das über der Kuppel befindliche, zu Wohnzwecken eingerichtete Geschofs ist erst eine neuere Zuthat.

Das Aeufsere des ursprünglichen Baues ist leider durch ringsum anstofsende Häuser verdeckt. Nur auf der Nordostseite ist noch ein geringes Stück des alten Mauerwerks frei zu sehen; dieses entspricht demjenigen der ältesten Theile von San Lorenzo. An der genannten Stelle sind auch einige aus der Frontenflucht herausgestreckte Ziegel von der untersten Schicht des ursprünglichen Hauptgesimses erhalten, sodafs wenigstens dessen Höhenlage sich feststellen läfst. Die am modernen Obergeschosse auftretenden Ecklisenen waren am ursprünglichen Bau nicht vorhanden.[2])

Es widerspricht nichts, in dem erhaltenen Bau im wesentlichen den von Bischof Laurentius gegründeten zu erkennen. Der Zwischenbau, welcher die Capelle mit der Kirche verbindet, ist jüngeren Ursprungs und mag, da alte Reste eines Gewölbes nicht vorhanden sind, ehemals nur mit Holz bedeckt gewesen sein.

C. Die Capelle S. Ippolito.

Der Festtag des heil. Hippolytus, der 13. August, ist zugleich derjenige des heil. Cassianus. Da die Verehrung beider Heiligen in alter Zeit gemeinsam gefeiert wurde, so wird die S. Hippolytus-Capelle in den ältesten Urkunden auch als dem heil. Cassianus geweiht bezeichnet.[3]) Die Capelle wurde vermuthlich von Bischof Theodorus I. (480 bis 490) gegründet, da dieser nach seinem Tode in ihr beigesetzt wurde. Auch sein Nachfolger, der im Jahre 512 verstorbene Bischof Laurentius I., welcher als Stifter der S. Sixtus-Capelle bereits genannt wurde, fand in S. Ippolito seine Ruhestätte.

Die Capelle bildet (Blatt 33) im Innern ein griechisches Kreuz und ist mit zwei Tonnengewölben bedeckt, die über dem mittleren Quadrate sich nach einem Kreuzgewölbe durchdringen. Jede Ecke des genannten Quadrats wird von einer Säule eingenommen, welche — ähnlich denen über dem Eingange zum Palaste des Theoderich in Ravenna — innerhalb einer Ausnischung des Mauerwerks aufgestellt ist. Von einer Säule zur andern spannt sich — mit Ausnahme des Altarraumes — ein Gurtbogen, der im Fufse nur wenig über dem Gewölbe vortritt, nach dem Scheitel hin aber an Höhe zunimmt. Die gut erhaltenen Capitelle und Basen aus weifsem Marmor zeichnen sich durch jene Formvollendung aus, welche den Schöpfungen der Römer noch während der späteren Zeit eigen war. Mit ihnen stimmen jedoch die Schäfte aus rothem Marmor wenig überein; ihr oberer und ihr unterer Durchmesser ist gröfser als derjenige der Capitelle und Basen, und ihre Verjüngung entspricht nicht mehr den klassischen Regeln. Die beiden östlichen Capitelle sind nach der compositen, die beiden westlichen nach der korinthischen Art gebildet; doch sind die Abmessungen beider fast gleich. Die korinthischen Capitelle entsprechen genau denen, welche in verstümmeltem Zustande in San Lorenzo vorhanden sind. Unter den Basen liegen noch Reste des alten Marmor-Fufsbodens. Das barocke Stuckband, welches zur Zeit den Gewölben als Kämpfer dient, vertritt die Stelle eines niedrigeren alten Marmorgesimses, von dessen Vorhandensein man sich leicht überzeugen kann. Da die Grundmauern der Capelle gegen das Grundstück Piazza della Vetra Nr. 14 bis zu 2,5 m frei liegen, so ist infolge des mangelnden Erddruckes das Mauerwerk an jener Stelle bedeutend aufser Loth gerathen. Auch im Innern hängen die beiden compositen Säulen nach hinten über, die Achse der südlichen sogar um 20 cm, sodafs eine Erneuerung der Gewölbe sehr wahrscheinlich sein dürfte.

Aufsen bildet die Capelle ein regelmäfsiges Achteck, dessen Ziegel-Mauerwerk nicht allein demjenigen der östlichen Nische von San Lorenzo gleicht, sondern auch mit ihm in Verband liegt. Dasselbe gilt für die aus Puddinga hergestellten Grundmauern, welche denen von San Lorenzo in allen Stücken entsprechen und bezeugen, wie die Capelle gleichzeitig mit dem byzantinischen Neubau von San Lorenzo von Grunde aus neu aufgeführt wurde. Merkwürdig ist der Umstand, dafs die Seite des äufseren Achtecks kleiner ist als die lichte Weite der Tonnengewölbe, deren Widerlager auf diese Weise gegen die Stirnmauern hin noch schwächer wird als die Stärke der letzteren. Ein Fenster des alten Baues ist noch zu erkennen und zeigt dieselbe Bildung, nur eine gröfsere Weite als diejenigen, welche dem byzantinischen Bau von San Lorenzo angehören. Das alte Hauptgesims (Abb. 17) ist zwar nicht vollständig, doch immerhin fünf Schichten hoch erhalten. Es zeigt einige Verwandtschaft mit dem Gurtgesimse oberhalb des Erdgeschosses von San Lorenzo, steht aber mit demselben in keiner Beziehung, da

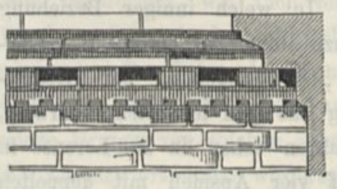


Abb. 17.
Hauptgesims von S. Ippolito. 1:30.

1) Erw. Werk, Buch II, Cap. 3, 9.

2) Die Angaben von Lohde und de Dartein sind gegenüber den von Hübsch gemachten somit unrichtig.

3) Muthmafslich ist der h. Cassianus gemeint, welcher im Jahre 362 in Imola in der Emilia den Martertod starb.

seine Kragsteine um drei Schichten tiefer als in jenem sitzen; zudem ist es durch die Verwendung besonderer Zahnschnittsteine bereichert. Während das genannte Gurtgesims von San Lorenzo erst dem 12. Jahrhundert angehören kann, steht nichts entgegen, das Hauptgesims von S. Ippolito gleichzeitig mit dem äufsern Mauerwerk der Capelle anzunehmen und noch dem byzantinischen Bau zuzuschreiben. Das zum Gottesdienste eingerichtete obere Geschofs gehört erst dem Anfange dieses Jahrhunderts an und bietet auch nichts besonderes.

Um aus unserer Untersuchung einen Schlufs auf die Entstehung des Bauwerks zu ziehen, so ergeben die geschichtlichen Nachrichten, dafs eine Capelle des heil. Hippolytus bereits vor dem byzantinischen Bau von San Lorenzo vorhanden war. Ob von dieser älteren Gestalt der Capelle noch Reste erhalten sind, ist nicht sicher zu entscheiden, ebensowenig, ob dieselbe den zweiten Bau in irgend welcher Art beeinflufst hat. Jedenfalls beweist die Prüfung des Aeufseren, dafs die Capelle bei Gelegenheit des byzantinischen Neubaues der Kirche durchgreifend erneuert wurde.

D. Die Capelle S. Aquilino.

I. Geschichte des Bauwerks.[1]

Ueber den Ursprung der Capelle S. Aquilino liegen keine beglaubigten Nachrichten vor. Die Acta Sanctorum[2]) erzählen, dafs der heil. Aquilinus aus Würzburg gebürtig gewesen sei und sich in Mailand den Kanonikern von San Lorenzo angeschlossen habe. Nachdem er durch Ketzerhand den Tod gefunden, sei er in einer Capelle bei San Lorenzo bestattet worden. Die Zeit seines Lebens setzen sie in das 5. oder 6. Jahrhundert. Doch hat Professor H. Denzinger überzeugend nachgewiesen, dafs der Martertod des heil. Aquilinus zwischen der Mitte des 11. und des 12. Jahrhunderts stattgefunden haben müsse. Kann somit bis zu jenem Zeitpunkte hin die Capelle den gegenwärtigen Namen noch nicht getragen haben, so scheint doch anderseits die Ueberlieferung einer von Galla Placidia gegründeten und dem heil. Genesius geweihten Capelle bei San Lorenzo auf unseren Bau bezüglich zu sein. Eine solche Capelle findet sich wohl zuerst in einer aus dem 12. Jahrhundert stammenden Prozessionsordnung genannt;[3]) ferner kennt Gottofredo da Bussero, ein mailändischer Geschichtschreiber des 13. Jahrhunderts,[4]) eine „aurea ecclesia Sancti Genexii" nahe San Lorenzo, deren ausführliche Beschreibung leider verloren gegangen ist. Anderseits giebt schon Bischof Benzo von Alba die Kirche San Lorenzo nebst ihren alten Anbauten für eine Gründung der Galla Placidia aus[5]), und bleibt zu beachten, dafs die Capelle, von welcher wir sprechen, mehrmals unter der Bezeichnung „Capelle der Königin" erscheint.[6]) Noch im

1) Giuseppe Allegranza, Spiegazione e riflessioni sopra alcuni sacri monumenti antichi di Milano. Mailand, 1757. 4°.

Heinrich Denzinger, Kritische Untersuchungen über das Leben des heiligen Märtyrers Aquilinus. Würzburg, 1855. 8°. Abdruck aus der Katholischen Wochenschrift. 1855. Nr. 11 bis 13.

Giovanni Dozio, Memoria sul culto del martire Sant' Aquilino in Milano. Mailand, 1856. 8°.

2) Unter dem 29. Januar. Jan. Bd. II. S. 970.

3) Antichità longobardico-milanesi. Bd. 3. S. 243.

4) Librum notitiae Sanctorum Mediolani. Cap. 175. Dieses Werk befindet sich handschriftlich auf der Erzbischöflichen Bibliothek in Mailand, eine Abschrift auf der Ambrosiana.

5) Vergl. oben S. 203.

6) Vgl. die erwähnten Schriften von G. Allegranza und P. Rotta.

Jahre 1402 wiederholt eine Verfügung des Herzogs Gian Galeazzo Visconti[1]) den ursprünglichen Namen und die angebliche Gründung der Capelle und erwähnt, was von besonderer Wichtigkeit, in derselben einen Altar des heil. Aquilinus. Diese Mittheilung bildet zugleich die älteste urkundliche Nachricht über den gegenwärtigen Titelheiligen der Capelle.

Das Innere von S. Aquilino war ehemals reich mit Goldmosaiken und Steintäfelungen ausgestattet. Um die Mitte des 17. Jahrhunderts vernichtete man den farbenprächtigen alten Schmuck bis auf die zwei noch vorhandenen Mosaiken, tünchte Gewölbe und Wände dafür weifs an und überklebte sie mit Holz- und Stuckgesimsen.[2]) In der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurde dann noch eine Laterne über der Kuppel gebaut und wurden die Säulen des äufseren Umganges durch Ziegelpfeiler ersetzt.[3])

Der Leichnam des heil. Aquilinus war anfangs in der dritten Nische rechts unter dem Apostel-Mosaik bestattet, und die Wand derselben mit Darstellungen aus seinem Leben bemalt. Nachdem die gegenwärtige Hauptnische dem Eingange gegenüber erbaut worden war, wurde im Jahre 1697 der Leichnam in dieselbe unter grofser Feierlichkeit überführt.

II. Beschreibung des gegenwärtigen Gebäudes.

Auf der Südseite gelangt man aus San Lorenzo in die Capelle der Madonna Dolorata, einen quadratischen Raum, welchem rechts und links eine Halbkreisnische sich anfügt. Wenn auch das Ganze jetzt ein barockes Gewand trägt, so ist doch die Plananlage alt, wie die Aufnahme im Skizzenbuche des Giuliano da Sangallo beweist.

Den Eintritt in die S. Aquilinus-Capelle bildet ein marmornes antikes Thürgestell (Blatt 34), welches dem Ausgange des 2. oder dem Beginn des 3. Jahrhunderts unserer Zeitrechnung entstammen mag. Der Rahmen, welcher in drei übereinander gelegte Streifen gegliedert ist, besitzt zwar ein sehr flaches Profil, ist aber dafür mit reichem Ornament bedeckt. Wenn auch die Zeichnung des letzteren, besonders der Rankenfriese, keineswegs geschickt in der Linienführung ist, so wird doch der Beschauer durch den beständigen Wechsel der Einzelformen und die mannigfaltigen Lebewesen überrascht, welche durch das Ornament zerstreut sind. Da finden sich allerhand Genien, ein Jupiter, ein Neptun, zweimal eine Diana auf einem von Hirschen gezogenen Wagen, eine auf einem Bock reitende nackte Bacchantin, kämpfende Ziegen u. a. m. Der wagerechte Theil des äufseren Streifens wird eingenommen von Muscheln, in welchen sich Delphine und Vögel ergötzen, sowie von Genien, welche reiten oder auf Zweigespannen einherjagen. Der darunter befindliche Theil des mittleren Streifens enthält Laubgewinde tragende Adler zwischen Candelabern. Verschiedene dieser Gegenstände würden einer symbolischen Deutung

1) Städtisches Archiv in Mailand, Registro delle lettere ducali. 1393 bis 1409. Fol. 97.

2) Glücklicherweise erhielt man das jetzt wenig beachtete Fresco über dem Eingange, welches einen von zwei Engeln betrauerten Christus vorstellt und an die Malereien des Bernardino Luini erinnert.

3) C. Torre, erw. Werk, S. 126 und G. Allegranza, erw. Werk, Dissertazione I und Tafel 2.

Vielleicht wurden bei der einen oder der andern Gelegenheit auch die alten Mosaiken der S. Hippolytus-Capelle vernichtet, von denen wir noch aus der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts Kunde haben. Vergl. S. Latuada, erw. Werk. S. 312.

zwar sehr wohl fähig sein, würde nicht die Mannigfaltigkeit der Bilder den Anschein erwecken, dafs sie nur rein verzierend zusammengetragen seien. Die senkrechten Gewände sind aus je vier verschieden langen Stücken hergestellt. Aus den Beschädigungen, die sie an den Lagerfugen, besonders am Sturze erlitten haben, erkennt man, dafs die Thür nicht in ihrer ursprünglichen Fassung erhalten sein kann, sondern vielmehr erst von einem älteren Gebäude entnommen und an diesem Orte neu aufgebaut sein mufs. Gegenwärtig liegt der Fufsboden der Kirche nach einer früher stattgehabten Ausgrabung 1,17 m oberhalb der alten Thürschwelle.[1])

Die Capelle des heil. Aquilinus bildet, wie die des heil. Sixtus, ein Achteck, welchem abwechselnd rechteckige und halbkreisförmige Nischen sich anschliefsen. In der ersten Nische rechter Hand vom Eintritt befindet sich ein Sarkophag (Blatt 34), der nach der Ueberlieferung einstmals den Körper der Galla Placidia eingeschlossen haben soll. Darf es nun als sicher gelten, dafs jene Kaiserin in ihrer Grabstätte in Ravenna beigesetzt worden sei, so schliefst sich doch der Sarkophag durchaus einer in Ravenna verbreiteten Gattung altchristlicher Steinsärge an, welche die Darstellung der menschlichen Gestalt vermeiden, dafür aber eine Vorliebe für ornamentale und symbolische Formen bekunden. Der eigenartige Wechsel rundbogiger und giebelgekrönter Architekturen findet sich bereits in ganz gleicher Anordnung auf einigen Steinsärgen der spätrömischen Zeit, als deren besterhaltener wohl der vor der Hauptkirche in Ivrea befindliche zu nennen sein möchte. Diese Zierweise wird auf verschiedenen altchristlichen Steinsärgen beibehalten; sie kehrt insbesondere auch an dem Kaiser Honorius zugeschriebenen Sarkophage wieder, welcher sich in der eben erwähnten Grabstätte der Galla Placidia in Ravenna befindet, sodafs man den mailändischen Sarkophag vielleicht ebenfalls noch in das 5., spätestens aber in das 6. Jahrhundert verweisen mufs. Die abgebildeten Symbole sind die der frühchristlichen Kunst geläufigen: Lämmer, Tauben und Kreuze von lateinischer Gestalt, deren senkrechter Arm zum P ausgebildet ist, oder solche von griechischer Gestalt, deren beide Arme diese Veränderung erfahren haben. In zwei symmetrischen Darstellungen sieht man den heiligen Geist, welcher über einem Kreuze der ersteren Art, dem Symbole Christi, schwebt. Der Deckel ist als Spitzdach mit Schuppen behandelt; der Stein des Sarkophages ist weifser Marmor vom Comer-See.[1]) Die zweite Nische zur linken Hand enthält einen dem heil. Genesius geweihten Altar.[2])

Die beiden mit Halbkuppeln gedeckten Nischen zu den Seiten des Hauptaltars zeigen jede auf dem Gewölbe ein altes Mosaikbild. Dasjenige, welches der Eintretende zur Rechten erblickt (Abb. 18), stellt nach Allegranza den jugendlichen Christus in Mitte von zwölf Gelehrten der Synagoge vor. Es ist aber bekannt, dafs die christlichen Künstler während der ersten sechs Jahrhunderte unserer Zeitrechnung den Heiland überwiegend als unbärtigen Jüngling abzubilden pflegten; aufserdem sind die beiden ihm zunächst sitzenden Männer deutlich als Petrus und Paulus gekennzeichnet, jener als Greis, doch ohne Schlüssel, dieser mit dunklem Haar, ein Buch oder ein Diptychon in den Händen, sodafs mit Hinsicht auf die Zwölfzahl die Darstellung der Apostel als sicher angenommen werden kann. Christus hält in der Linken ein offenes Buch und hat die Rechte mit lebhafter Bewegung emporgehoben. Seinen Nimbus schmückt ein von den Buchstaben *A* und *Ω* umstelltes Monogramm. Von seinen Füfsen rinnen zwei Blutströme, während aus seiner rechten Seite ein dritter Strom hervorspringt.[3]) Obwohl alle drei nur auf dem Rasen, beziehungsweise auf dem Hintergrunde gezeichnet, auf dem Körper und dem Gewande hingegen fortgelassen sind, so sind sie doch ursprünglich und nicht etwa in späterer Zeit erst eingefügt. Die Anordnung der tiefer als Christus sitzenden Apostel ist zwar streng, die Haltung der Einzelnen, der Ausdruck ihrer Köpfe aber ebenso frei von gesetzmäfsiger Starrheit wie von groben anatomischen Verzeichnungen. Die Apostel wie Christus sind mit weifser Tunica und weifsem Pallium bekleidet, von denen jene stets mit zwei blauen Streifen, dieses mehrmals mit den Buchstaben I, Z und Ꟊ gezeichnet ist. Staub und Kerzenqualm haben das Bild stark verdunkelt, sodafs man in neuerer Zeit die Lichter auf dem Fleische und den Gewändern mit Oelfarbe wieder aufzufrischen suchte, deren unangenehmer weifser Ton auf dem dunklen Hintergrunde nunmehr besonders hart wirkt. Der aus-



Abb. 18. Mosaikbild rechts in S. Aquilino.

1) Carlo Amati, Antichità di Milano esistenti presso San Lorenzo. Mailand, 1821. Fol. S. 13.

1) Abgüsse der unteren Theile befinden sich im christlichen Museum der Berliner Universität.

2) Am Vorabende des S. Lorenzfestes findet in jedem Jahre eine Procession aus der Kirche nach diesem Altare hin statt und wird an demselben eine Messe gelesen.

3) Die beiden ersteren waren unter der später aufgemalten Oelfarbe, welche den Rasen bedeckt, verborgen. — Die von Allegranza und anderen gemeldete Quelle, welche zu den Füfsen Christi entspringen soll, ist bereits von Garrucci, erw. Werk Bd. IV, S. 41, als eine schadhafte Stelle des Mosaiks erklärt worden.

bessernde Maler hat sich auch einige ungewissenhafte Veränderungen der alten Zeichnung zu Schulden kommen lassen.

Das Mosaik zur linken Hand (Abb. 19) ist nur in seinen beiden Endstücken alt; der ganze mittlere Theil ist in Oelfarbe wiederhergestellt, die alte Zeichnung anscheinend aber ziemlich getreu beibehalten. Der Gegenstand ist nicht sogleich verständlich. Crowe und Cavalcaselle[1]) sowie die älteren Ausgaben von Burckhardts „Ciceronen" benennen das Mosaik das Opfer Abrahams. Nach Garrucci[2]) stellt es vor, wie der vom Vater ausgeschickte Josef zu den Brüdern kommt. Eher als an diese Annahmen liefse sich an eine Verkündigung der Hirten denken, wie Rahn[3]) und die neuesten Ausgaben des „Ciceronen" vermuthen. Am glaubwürdigsten jedoch erscheint der Vorschlag des Giovanni Dozio, welcher das Martyrium des heil. Genesius von Arles erkennen will, wenngleich seine Beschreibung des Bildes keine vollkommen richtige ist. Nach den Acta Sanctorum[4]) soll der heil. Genesius ein junger Beamter in Arles gewesen sein, welcher verfolgt wurde, als er die gegen die Christen gerichteten Blutgesetze niederzuschreiben sich weigerte. Ueber die Rhone schwimmend, rettete er sich ins Gebirge, wurde hier aber erreicht und erlitt den Tod, nach Baronius im Jahre 303.



Abb. 19. Mosaikbild links in S. Aquilino.

Das Bild stellt eine Gebirgslandschaft vor, welche durch ein Gewässer belebt wird, an dessen Ufer einige Schafe friedlich weiden. In der Mitte eilt ein vornehm gekleideter Jüngling am Wanderstabe herbei und wendet sich an einen Hirten. Ein Genosse des letzteren kommt in erschreckter Bewegung näher, während ein zweiter des Vorgangs noch achtlos am Wasser ruht. Ich glaube, so lange keine besseren Anhaltspunkte gefunden werden, in dieser Darstellung den verfolgten heil. Genesius zu erkennen, welcher bei Gebirgsbewohnern Rettung sucht. Die Verehrung dieses Heiligen war in Südgallien weit verbreitet,[5]) und es ist nicht unmöglich, dafs Galla Placidia, welche als Gemahlin des Westgothen-Königs Athaulf lange Zeit in diesem Lande weilte, nach Mailand zurückgekehrt, den Cultus des heil. Genesius nach dorthin übertrug und die Capelle seines Namens errichtete.[1])

Die beiden Mosaiken haben goldenen Hintergrund, im Martyrium des heil. Genesius ist derselbe von Wolken durchzogen.

Das Apostelbild erinnert, was die Zeichnung — insbesondere die Gewandung —, die Farbe und Technik angeht, lebhaft an andere Musivwerke, welche während dem 5. Jahrhundert und dem Anfange des 6. in Italien, besonders aber an diejenigen, welche in Ravenna entstanden. Gegen die Annahme einer späteren Herkunft spricht vor allem der Gegenstand selber. Christus im Lehrvortrage unter den ihm zulauschenden Aposteln weilend, war ein sehr beliebter Vorwurf der ältesten christlichen Bildhauerei und Malerei.[2]) Derselbe wurde aber vernachlässigt, seitdem vom byzantinischen Kaiserhofe aus, namentlich seit der Regierung Justinians ein neues, zugleich ernstes und feierliches Element in die bildende Kunst gekommen war. Von jenem Zeitalter an wurde die Darstellung des thronenden Christus bevorzugt, welchem die Apostel oder andere heilige Personen ihre Verehrung bezeugen, bildete man ferner Christus fast nur noch bärtig ab und gab dem heil. Petrus einen oder zwei Schlüssel.[3]) — Auch der merkwürdige Nimbus Christi kehrt auf einigen Denkmälern wieder, deren Entstehungszeit wahrscheinlicher in das 5. als in das 6. Jahrhundert zu verlegen ist.[4])

Das gegenüber befindliche Mosaik mufs der gleichen Ausführung wegen aus derselben Zeit wie das eben betrachtete herrühren. Die untersetzten Gestalten, welche wir auf ihm

1) J. A. Crowe u. G. B. Cavalcaselle, Geschichte der italienischen Malerei, deutsch von M. Jordan. Leipzig, 1869. 8°. Bd. I, S. 32 Anm.; desgl. Storia della pittura in Italia. Florenz, 1875. Bd. I, S. 51.

2) A. a. O. Die Aufnahmen, welche Garrucci von den beiden Mosaiken (Bd. IV, Tafel 234) und auch von dem besprochenen Steinsarge (Bd. V, Tafel 387, Fig. 6) giebt, sind nur wenig zuverlässig.

3) K. Schnaase, Geschichte der bildenden Künste. Bd. III, bearbeitet von R. Rahn. 1869. 8°. S. 197/8.

4) 25. August. Aug. Bd. V, S. 123.

5) Die daselbst sich findenden Sarkophage tragen häufig das Bildnifs eines jungen bartlosen Mannes, in welchem de Rossi den heil. Genesius erkennt. — G. B. de Rossi, Bullettino di archeologia cristiana. Rom, 1864. S. 46. — Le Blant, Étude sur les sarcophages chrétiens antiques de la ville d'Arles. Paris, 1878. Fol. S. 34 und Tafel XX, 1.

1) Nach Gottofredo da Bussero soll allerdings die Capelle dem heil. Genesius von Rom geweiht gewesen sein, einem Schauspieler, welcher auf der Bühne durch die Darstellung einer Taufe für das Christenthum gewonnen wurde. Auch das Bild von Cristoforo Moreto über dem Altare des heil. Genesius stellt den römischen Heiligen dar. Doch mag man, wie Dozio bemerkt, den einen Heiligen mit dem andern schon frühzeitig verwechselt haben, was um so leichter geschehen konnte, als der Festtag beider der gleiche ist.

2) Beispiele bei F. X. Kraus, Real-Encyklopädie der christlichen Alterthümer. Freiburg i. B., 1882 bis 1885. 8°. Apostel. — Besonders kennzeichnend für die Auffassung der ältesten Kunst erscheint das berühmte Relief einer Elfenbeinbüchse im Berliner Museum, dessen Stil nach Ansicht der bedeutendsten Gewährsmänner noch des 3. Jahrhunderts würdig ist.

3) Zu den frühesten Beispielen der aufgezählten Erscheinungen gehören die Mosaiken der beiden Baptisterien von Ravenna.

4) Garrucci, erw. Werk, Tafel 102, Gemälde in den Katakomben von Neapel (Garrucci giebt die jugendliche Gestalt für den heil. Januarius aus, richtiger aber erkennen in ihr Crowe und Cavalcaselle, erw. Werk, S. 8, den Heiland), Tafel 332 Sarkophagrest in S. Vitale in Ravenna, Tafel 499 Relief der Holzthür von Sta Sabina in Rom.

beobachten, finden sich, von den spätrömischen Bildwerken her übernommen, oft genug in den geschichtlichen Darstellungen des altchristlichen Stils. Unsere sehr lückenhafte Kenntnifs dieser letzteren erweitert das Mosaik nicht unwesentlich. Obgleich man, wie aus alten Beschreibungen hervorgeht, bereits im 4. Jahrhundert, in welchem der Uebergang von der älteren symbolischen Kunst zur geschichtlichen seinen Anfang nahm, auch die Darstellung des Martertodes zu unternehmen wagte,[1]) so reichen doch die erhaltenen Denkmäler nicht über die erste Hälfte des 5. Jahrhunderts zurück. Dieselben bezeugen uns, wie die noch unter dem Einflusse der Antike stehenden Künstler sich scheuten, den Martertod in seinem wirklichen Schrecken zu bilden.[2]) Im Grabmal der Galla Placidia in Ravenna sehen wir Christus, wie er im Arme sein Kreuz hält, den heil. Lorenz, wie er auf den Rost zuschreitet, auf welchem er sterben soll. In gleicher Weise ist auch auf unserem Bilde die Darstellung des Martertodes vermieden, und S. Genesius kurze Zeit vor demselben abgebildet. Dagegen gehören die der Gestalt Christi so schüchtern beigefügten Blutströme zu den ersten Versuchen, auch auf Mosaiken das Leiden des Heilands am Kreuze der Wahrheit gemäfs zu veranschaulichen, während man zu dessen Wiedergabe auf Werken untergeordneten Mafsstabes sich leichter verstanden zu haben scheint.

Die aus acht gleichen Walmen zusammengesetzte Kuppel der Capelle ist mit schlichten barocken Stuckbändern gegliedert. Wie man aus einem zur Aufhängung einer Lampe dienenden Loche erkennen kann, ist das Gewölbe der Kuppel 45 cm stark und gänzlich aus Ziegeln hergestellt; auf seinem Rücken ist es mit einer etwa 10 cm dicken Schicht von hydraulischem Mörtel überzogen.

Hinter dem erwähnten Steinsarge führt eine Treppe empor, welche sich in rücksichtsloser Weise über demselben aufbaut

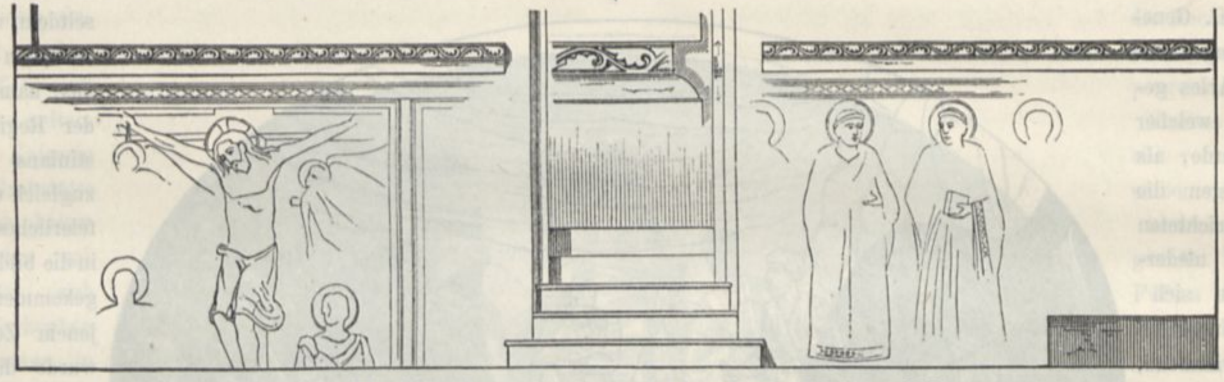


Abb. 20. Wand im oberen Geschosse der Capelle der Madonna Dolorata.

und erst entstanden sein kann, seitdem der Fufsboden von S. Aquilino erhöht worden ist. Der Sarg, welcher ehemals dicht an der Wand gestanden haben mufs, wie die unbearbeitete Rückseite zeigt, wurde damals gehoben und sein Standort verändert. Die Treppe leitet, durch die Mauer hindurch gebrochen, nach dem oberen Geschosse der Capelle der Madonna Dolorata. Dasselbe dient jetzt als Gerätheraum und wird von einem Tonnengewölbe überspannt, dessen Schildbögen da, wo der Putz abgefallen, den romanischen Wechsel von Ziegeln und Hausteinkeilen aufweisen. Das Kämpfergesims, mit unvollendetem Band-Ornament, gehört dem 11. oder 12. Jahrhundert an, einem Zeitalter, mit welchem die Mauerart des Aeufseren und die erhaltenen Fensterformen sehr gut übereinstimmen.

Auf der ganzen Länge der Wand, durch welche man, einige Stufen steigend, auf die Empore von S. Aquilino tritt, fanden sich, unter späterer Kalktünche verdeckt, die Ueberreste eines grofsen Frescogemäldes (Abb. 20 u. 21) vor, dessen Ausführung in die Zeit Giottos oder seiner Nachfolger hinaufreichen mufs. Auf blauem Grunde zeigt die links von der Thür befindliche Hälfte den gekreuzigten und bereits verschiedenen Christus, zu seinen Seiten die Gestalten der Maria und des Johannes und zwei Engel, die rechte Hälfte mehrere Heilige mit geschorenem Haupte. Sämtliche Gestalten hatten ehemals einen goldenen

Abb. 21. Aus dem Frescogemälde in der Capelle der Madonna Dolorata.

Kreisnimbus, welcher aufsen roth umzogen, innen mit einem zierlichen, in den Putz eingedrückten Muster gefüllt war; der Nimbus des Erlösers enthält ein griechisches Kreuz. Der untere Theil des Gemäldes wird in einer beträchtlichen Höhe von dem Fufsboden verdeckt.[1]) Dieser Umstand legt es zweifellos klar, dafs die Capelle im Mittelalter kein oberes Geschofs besafs und dafs das flachbogige Tonnengewölbe des Erdgeschosses nur angelegt wurde, um einen neuen Zugang für die Empore von S. Aquilino zu gewinnen. Ursprünglich wurde dieser von einer schmalen Treppe gebildet, welche in dem Pfeiler zwischen der Eingangsnische und der rechts von ihr befindlichen ausgespart war. Ein Ueberrest derselben kreuzt die besprochene heutige

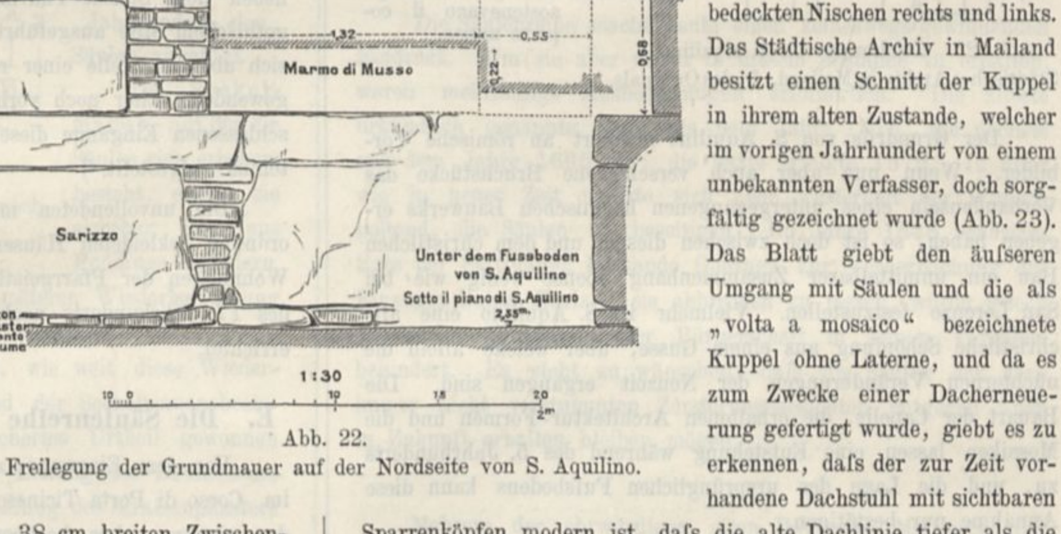
1) F. Piper, Einleitung in die monumentale Theologie. Gotha, 1867. 8°. §46. — Ch. Bayet, erw. Werk, S. 60 ff.

2) E. Dobbert, Zur Geschichte des Cruzifixes. Jahrbücher der Preufsischen Kunstsammlungen. Berlin, 1880. S. 41.

1) Eine Beseitigung der das Gewölbe bedeckenden Tünche würde zweifellos durch die Auffindung besserer Reste belohnt werden. — Mailand ist im Vergleiche zu andern italienischen Städten ziemlich arm an giottesken Malereien. Doch besitzt es ein grofses und wohl erhaltenes Fresco im Erdgeschosse des oben erwähnten sogenannten Thurmes des Anspertus hinter S. Maurizio, welches aber so gut wie unbekannt ist. Dem Ende des 13. oder dem Beginn des folgenden Jahrhunderts angehörend, stellt dasselbe eine fortlaufende Reihe von siebzehn unter gothischen Tabernakeln stehenden Heiligen dar, welche durch den Erzengel Michael in zwei Gruppen geschieden werden, sodann in gleicher Höhe S. Franziscus, welcher die Wundmale empfängt, eine Kreuzigung Christi, welche der eben beschriebenen ganz entspricht, und schliefslich die Heiligen Gervasius, Protasius und Victor im Gefängnisse, welche der Ueberlieferung nach in diesem Thurme gefangen gehalten wurden. Bemerkenswerth ist, dafs S. Ambrosius ohne die ihm seit 1338 beigegebene Geifsel abgebildet ist. Unter diesen figürlichen Malereien sieht man einen Sockel mit farbig aufgemalten Quadern. Eine Balkendecke, welche von einer bemalten alten Holzsäule getragen wird, überspannt diesen Raum, der gegenwärtig als Magazin für die benachbarte Schule benutzt wird.

Treppe; auch läfst einer der im Städtischen Archive aufbewahrten Grundrisse, welche gelegentlich des barocken Neubaues der Kirche gefertigt wurden,[1]) an der bezeichneten Stelle eine Wendeltreppe mit dem Zugange von der Halbkuppel-Nische erkennen.

Die Prüfung der Aufsenansichten von S. Aquilino ist, da diese durch Putz und spätere Anbauten zum grofsen Theile verdeckt sind, nicht minder schwer als die derjenigen von San Lorenzo. Sie sind gleich den ältesten Theilen der letzteren in meist zerbrochenen Ziegeln hergestellt, welche ursprünglich die Abmessungen der römischen Ziegel besafsen. Man hatte mir gestattet, auf der Nordostseite die Grundmauer freizulegen (Abb. 22). In einer Tiefe von 2,55 m unter dem Fufsboden der Capelle wurde ein weiteres Vordringen durch ein Pflaster von schwach hydraulischem Beton verhindert, dessen Vorhandensein ich bis zu 2 m Abstand von der Frontenflucht feststellen konnte. Die auf diesem Pflaster ruhende Grundmauer besteht aus Sarizzo-Stücken von verschiedener Gröfse, deren Zwischenräume durch Ziegel gefüllt sind; auch ein grofser Marmorquader wurde gefunden, welcher von einem älteren Bauwerke entnommen sein mag.



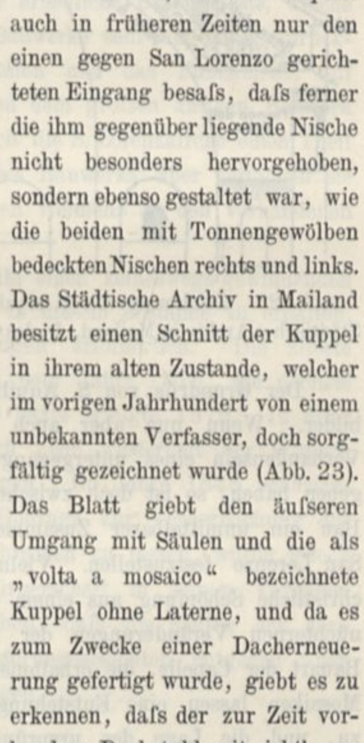


Abb. 22.
Freilegung der Grundmauer auf der Nordseite von S. Aquilino.

Einen gewissen Reiz erhält das schmucklose Aeufsere durch die unter dem Dache herumlaufende Zwerggalerie. Sie zeigt an jeder Ecke einen Winkelpfeiler und zwischen diesen auf jeder Seite drei quadratische Pfeiler. Von den Eckpfeilern sind gegen die Rückwand Bögen geschlagen, während von den Zwischenpfeilern nach dieser Steinbalken gelegt sind; Quertonnen, welche auf diesen Bögen und Balken ruhen, überdecken die Galerie. Man bemerkt leicht, dafs die 30 cm breiten Eckpfeiler durchgehend aus alten Steinen und einem harten, mit Ziegelmehl versetzten Mörtel, dafs dagegen die 38 cm breiten Zwischenpfeiler bald aus alten, bald aus neuen Steinen und einem nachgiebigen Mörtel hergestellt sind. Auf der Südseite ist an Stelle eines Zwischenpfeilers eine Säule vorhanden, deren Schaft mit 35 cm unterem Durchmesser zwar in Ziegeln erneuert und überputzt ist, deren Capitell und Basis, beide aus weifsem Marmor, aber alt sind (Blatt 34). Merkwürdig ist das der korinthischen Art nachgebildete Capitell. Die Schnecken und die ungetheilten Blätter sind roh gearbeitet, und statt der Mittelblume bemerkt man einen würfelartigen Klotz, welcher auf zwei Ansichten des Capitells mit einer Rose, auf den beiden übrigen mit einem Vogel geziert ist. Die Deckplatte ist ausgerundet, wenn auch nicht nach einer so vollendeten Linie, wie sie die klassischen Beispiele zeigen. Immerhin steht das Capitell dem antiken korinthischen viel näher als die sonst in Oberitalien bekannten Nachahmungen desselben aus altchristlicher Zeit, sodafs es sehr wohl noch in das 5. Jahrhundert zurückreichen mag. Die erneuerten Theile gehören der oben gemeldeten Veränderung des 18. Jahrhunderts an. Aus der gleichen Zeit stammt auch das Bandgesims unter der Galerie; ob es von Anfang her die heutige Gestalt hatte, bleibt zweifelhaft. Der geputzte Hohlkehlensims, welcher etwa in der Höhe des Emporen-Fufsbodens liegt, ist gleichfalls neueren Ursprungs und scheint ehemals den vier Schichten hohen Ziegelgesimsen von San Lorenzo ähnlich gebildet gewesen zu sein. Die Fenster der Empore sind zur Zeit sämtlich verunstaltet, waren aber früher, wie aufsen und innen deutliche Reste lehren, im Halbkreise geschlossen.[1])

1) Erwähnte Sammlung, Bd. IV, Tafel 23.

III. Das Bauwerk in seinem ursprünglichen Zustande.

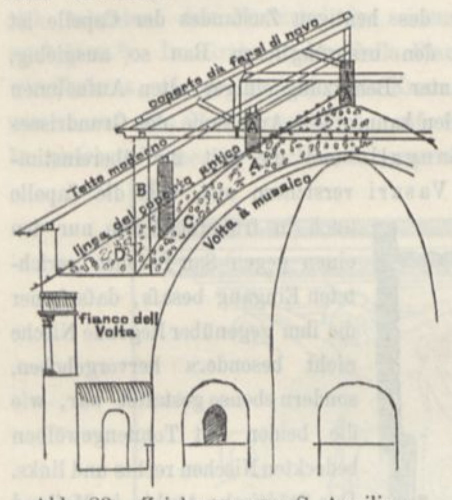
Die Untersuchung des heutigen Zustandes der Capelle ist an Aufschlüssen über den ursprünglichen Bau so ausgiebig, dafs man denselben unter Benutzung einiger alten Aufnahmen fast getreu wiederherstellen kann. Die Aufnahme des Grundrisses von Giuliano da Sangallo und die mit ihr übereinstimmende des jüngeren Vasari versichern uns, dafs die Capelle auch in früheren Zeiten nur den einen gegen San Lorenzo gerichteten Eingang besafs, dafs ferner die ihm gegenüber liegende Nische nicht besonders hervorgehoben, sondern ebenso gestaltet war, wie die beiden mit Tonnengewölben bedeckten Nischen rechts und links. Das Städtische Archiv in Mailand besitzt einen Schnitt der Kuppel in ihrem alten Zustande, welcher im vorigen Jahrhundert von einem unbekannten Verfasser, doch sorgfältig gezeichnet wurde (Abb. 23). Das Blatt giebt den äufseren Umgang mit Säulen und die als „volta a mosaico“ bezeichnete Kuppel ohne Laterne, und da es zum Zwecke einer Dacherneuerung gefertigt wurde, giebt es zu erkennen, dafs der zur Zeit vorhandene Dachstuhl mit sichtbaren Sparrenköpfen modern ist, dafs die alte Dachlinie tiefer als die gegenwärtige lag und den Raum zwischen ihr und der Kuppel ein mit Töpfen ausgesetztes Gufsmauerwerk füllte.[2])

Der alte Fufsboden ist seiner Höhenlage nach durch die verschüttete Länge des römischen Thürgestelles bekannt; zu beachten ist, dafs er mit dem Fufsboden der S. Sixtus-Capelle, deren Bau im 5. Jahrhundert ausgeführt wurde, genau in der Wage liegt. Da diese beiden Capellen in ausgesprochener Beziehung zu dem römischen Bau von San Lorenzo standen, so wird auch dessen Fufsboden mit dem ihrigen übereingestimmt haben, wie anderseits der Fufsboden der im 6. Jahrhundert

1) Auf der Südseite ist innerhalb des alten Fensters ein länglichrundes neues eingesetzt, welches mit der Front bündig liegt. Aus diesem hat Hübsch in seiner Aufnahme ein Kreisfenster innerhalb einer flachbogigen Nische gemacht! — In den beigefügten Aufnahmen sind diese modernen Verunstaltungen beseitigt und die Fenster im ursprünglichen Zustande wiedergegeben.

2) Mehrere Bruchstücke von Dachziegeln, welche bei Abmessungen von 44 : 59 cm ($1^1/_2$: 2 röm. Fufs) den antiken „imbrices“ gleich gestaltet sind, finden sich unter dem Dache und auf dem äufseren Umgange; sie mögen noch von dem ursprünglichen Dache herrühren.

erneuerten S. Hippolytus-Capelle die Höhenlage desjenigen des byzantinischen Neubaues von San Lorenzo abgeben mag. Der Umstand, dafs die Ornamente der antiken Thür die Schärfe der Modellirung in einer Weise verloren haben, wie es nur unter dem Einflusse der Witterung geschehen kann, läfst vermuthen, dafs die S. Aquilinus-Capelle anfangs ganz frei stand und zwischen ihr und der Kirche nur ein hofartig umfriedeter Raum gelegen haben kann. Erst später, wohl bei Gelegenheit der romanischen Erneuerung von San Lorenzo, wurde S. Aquilino mit der Kirche durch den im wesentlichen noch bestehenden Bau verbunden.



A. Pillastri s^{a} la volta che portano il tetto.

B. Pillastri n^{ro} 8 dà farsi di novo s^{a} il vivo ed una sol capriata armata à tre mazze, et à tutti li altri un paradoso, ed un tellaro maestro, che servirà per ligato all' intorno s^{a} tutti d^{ti} otto pillastri.

C. Urni overo olle che di p̃nte vi sono che anderano levate.

D. Urne già levate q̃le sostenevano il coperto antico.

Abb. 23. Zeichnung von S. Aquilino. Städtisches Archiv in Mailand. $^{2}/_{5}$ des Originals.

Der Grundrifs von S. Aquilino erinnert an römische Vorbilder. Wenn nun aber auch verschiedene Bruchstücke das Vorhandensein eines untergegangenen heidnischen Bauwerks ergeben haben, so ist doch zwischen diesem und dem christlichen Bau ein unmittelbarer Zusammenhang ebenso wenig wie bei San Lorenzo festzustellen. Vielmehr ist S. Aquilino eine altchristliche Schöpfung aus einem Gusse, über welche allein die nüchternen Veränderungen der Neuzeit ergangen sind. Die Bauart der Capelle, die erhaltenen Architektur-Formen und die Mosaiken lassen eine Entstehung während des 5. Jahrhunderts zu, und die Lage des ursprünglichen Fufsbodens kann diese Annahme nur bestätigen.

Von verschiedenen Seiten[1]) ist die Behauptung ausgesprochen worden, S. Aquilino habe ursprünglich als Taufcapelle gedient. Dafs die S. Lorenzkirche aber in alter Zeit Taufrecht besessen habe, wird nirgend überliefert, ist auch keineswegs wahrscheinlich, da dieses nur den Domkirchen zugetheilt zu sein pflegte.[2]) Vielmehr scheint es glaubwürdig, dafs S. Aquilino, selbst wenn die überlieferte Gründung durch Galla Placidia eine irrige sein sollte, zur Grabcapelle eines fürstlichen Geschlechts bestimmt gewesen war. Sie schlofs sich der S. Lorenzkirche in ähnlicher Weise an, wie ehemals das Grabmal der Galla Placidia mit der gleichfalls von jener Kaiserin erbauten heil. Kreuzkirche in Ravenna verbunden war.[1]) S. Aquilino war dem heil. Genesius von Arles als Titelheiligen geweiht, und gewisse feierliche Gelegenheiten, welche schon bei der Gründung vorgesehen waren, mögen es bedingt haben, durch die Anlage einer Empore Platz für eine gröfsere Volksmenge zu gewinnen.

Wie diese Empore zu den ältesten zeitlich gesicherten gehört, so bildet auch der äufsere Umgang neben demjenigen des Theoderich-Grabes in Ravenna — welchem er in der Anlage entspricht — das älteste bekannte Beispiel des Motivs der Zwerggalerie, welches während der romanischen Baukunst in Oberitalien allgemeine Beliebtheit erlangte. Die achteckige, in Ziegeln ausgeführte Walmkuppel ist in der Baugeschichte eines der ersten Gewölbe dieser Art und steht in ausgesprochenem Gegensatze zu den runden Gufskuppeln der Römer. Sicher gab sie das Vorbild ab für die Kuppeln zahlreicher Baptisterien, welche das Zeitalter der Longobarden und das darauf folgende in Oberitalien errichteten (Novara, Lenno, Agliate u. a.).

Von den anderen Capellen, welche die Kirche umgeben, hat allein die jetzt verunstaltete

Capelle der heil. Elisabeth

neben dem Südost-Thurme künstlerischen Werth. Sie ist in gothischem Stile ausgeführt und hat den Chor im Süden, erhebt sich aber an Stelle einer romanischen Capelle, deren nach Osten gewendeter Chor noch vorhanden ist. Vor dem alten jetzt geschlossenen Eingange dieser Capelle ist ein Altar des heil. Antonius aufgestellt.[2])

Die unvollendeten mit einer wuchtigen ionischen Pfeilerordnung bekleideten Häuser am Vorhofe der Kirche, welche die Wohnungen der Pfarrgeistlichen enthalten, wurden im Anfange des 17. Jahrhunderts nach den Entwürfen von Fabio Mangone errichtet.

E. Die Säulenreihe im Corso di Porta Ticinese.

Vor dem Eingange zu San Lorenzo befindet sich mitten im Corso di Porta Ticinese, diesen der Länge nach theilend, das einzige, aber hochbemerkenswerthe Wahrzeichen Mailands aus der römischen Kaiserzeit, eine Reihe von sechzehn in einer Flucht erhaltenen korinthischen Säulen. Sie stand ohne Zweifel mit der Kirche ehemals in irgend welchem Zusammenhange. Zwar liegt sie 54 m von der letzteren entfernt, und ist es ohne Ausgrabungen nicht zu ermitteln, was zwischen beiden lag; doch steht die Hauptachse der Kirche nicht allein senkrecht zur Säulenreihe, sondern trifft auch die Zwischenweite der beiden inneren Säulen genau in der Mitte, während die übrigen Zwischenweiten in ihren Längen nicht unbedenklich schwanken. Die Säulen aus weifsem Marmor sind einschliefslich der Basis und des Capitells 9 m hoch und haben 0,9 m unteren Durchmesser. Der untere Ablauf des Schaftes ist den Regeln der guten Zeit entgegen mit der Basis aus einem Stück gearbeitet; in dem unteren Drittel der Canneluren sind Rundstäbe eingelegt, oberhalb deren der Schaft durch eine Fuge getheilt ist. Die Gestalt der Capitelle, der reiche, zum Theil sinnwidrige

---

1) Vgl. die erwähnten Werke von Dozio, Hübsch, de Dartein und Mothes.

2) Ueber das Baptisterium des Domes in Mailand, welches angeblich vom heil. Ambrosius gegründet, von Laurentius I. (490 bis 512) aber jedenfalls erneuert wurde, vgl. das Epigramm des Ennodius: In Baptisterio Mediolanensi, erw. Ausgabe S. 157. CLXXXI. Ein zweites, zur Taufe von Frauen eingerichtetes wurde von Eustorgius II. (512 bis 518) erbaut, vergl. Ennodius: De Fonte Baptisterii S. Stephani, S. 271. CCCLXXIX. Siehe auch Giulini, erw. Werk, Bd. I, S. 144 und 151. — Die Behauptung, San Lorenzo hätte bis zum 8. Jahrhundert als Kathedrale gedient, ist ein Irrthum Wiebekings, welchen andere nachschrieben.

1) Vgl. den Bericht über die Entdeckung Lancianis im Bull. di archeologia crist. 1866. S. 74.

2) Vgl. Abb. 1 und Blatt 32.

Schmuck der Deckplatte, das Bestreben, die Mittelblumen nach verschiedenen Mustern zu bilden, offenbart eine sehr enge Verwandtschaft mit den antiken Capitellen in San Lorenzo und in S. Ippolito, wie mit der antiken Thür vor S. Aquilino. Vom Gebälke ist nur der Architrav, und auch dieser nur in wenigen Stücken, erhalten; wo er fehlt, ist er bei späteren Ausbesserungen durch rohe Granitblöcke ersetzt worden. Den Fries bilden scheitelrechte Bögen aus römischen Ziegeln. Aus eben denselben ist auch der elliptische Bogen über der mittleren Zwischenweite gewölbt, welche gröfser ist als die übrigen. Vielleicht war das Gebälk an dieser Stelle im Bogen von einer Säule zur andern geführt, wie solches beispielsweise im Palaste Diocletians in Spalato vorkommt.

Die Säulen werden gegenwärtig an jedem Ende von einem Pfeiler begrenzt, welcher mit der benachbarten Häuserreihe durch einen Bogen verbunden ist. Der eine derselben ist als Halbkreis mit der bekannten Deckschicht, der andere als Spitzbogen ausgeführt; jeder ruht auf den Bruchstücken eines Gesimses, dessen entartete Glieder auf eine spätere Zeit hindeuten, als diejenige, der die Säulen angehören (Abb. 24). Pfeiler und Bögen bestehen aus römischen Ziegeln, wurden aber erst, anscheinend im 13. Jahrhundert, den Säulen zugefügt.

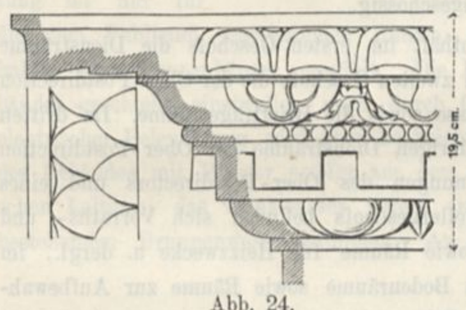


Abb. 24.
Bruchstück eines antiken Gesimses nach der Aufnahme von C. Amati.

Die Sockelmauer, auf der die Säulen sich erheben, besteht, soweit sie sichtbar ist, aus Puddinga-Quadern. In dem nördlichen Ende sind, einer späteren Wiederherstellung angehörend, einige antike Bruchstücke vermauert.

Ueber die lange erörterte Frage, wie weit diese Wiederherstellung den ursprünglichen Zustand der Sockelmauer beeinflufst habe, ist ein annähernd gesichertes Urtheil gewonnen worden, seitdem im Jahre 1831 unter Leitung des Baumeisters Gaetano Besia gelegentlich einer Erneuerung des Strafsenpflasters die Sockelmauer bis zur Sohle einmal freigelegt wurde.[1]

Der behördlicherseits eingesetzte Ausschufs, welchem auch der bekannte Carlo Amati angehörte, fand, dafs diese Mauer eine Gesamthöhe von 3,20 m hat und dafs ihr unterer 1,90 m hoher Theil aus römischem Gufswerk hergestellt ist und sich über die heutige Länge der Säulenreihe hinaus fortsetzt. Zugleich gaben auch einzelne ausgegrabene Bruchstücke von Säulen, welche der gleichen Ordnung wie die vorhandenen angehörten, zu erkennen, dafs die Zahl der letzteren ehemals gröfser gewesen sein müsse. Den oberen Theil der Sockelmauer betreffend, hegte Amati Bedenken gegen seinen römischen Ursprung. Der Umstand, dafs gerade unter der Achse einer Säule ein Abflufsrohr das römische Mauerwerk durchbricht, mit welchem es gleichzeitig zu sein schien, konnte seine Zweifel nur erhöhen, ob die Säulen noch den alten Standort einnähmen, und anderseits seine Vermuthung nur bestätigen, dafs die Mauer im Mittelalter eine Erhöhung erfahren hätte. Leider kann gegenwärtig in der verkehrsreichen Strafse eine Ausgrabung, welche die mitgetheilten Angaben zu prüfen vermöchte, nicht unternommen werden. Eine Besichtigung der Sockelmauer, soweit dieselbe heute sichtbar ist, dürfte aber Amatis Meinung unterstützen. Wissen wir auch, dafs die Römer den geringwerthigen Ceppo sehr wohl zu ihren Hochbauten, selbst zu Kunstarbeiten heranzogen,[1] so wird doch in keiner Weise klar, welchem Zwecke die Mauer in römischer Zeit, als das Erdreich bedeutend tiefer lag, gedient haben sollte, und ist die Ausführung ferner von einem zu nothdürftigen Gepräge, als dafs man sie als römisch anerkennen dürfte. Ebenso zeigen die Zwischenweiten der Säulen untereinander erhebliche Unterschiede, welche gegen die Vollendung antiker Bauwerke sehr ungünstig zurückstehen. Wohl werden die Säulen und das Fundament, auf welchem sie stehen, ehemals zu dem grofsen antiken Bauwerk gehört haben, von welchem auch die S. Lorenzkirche einen Theil bildete. Ueber die Gestalt dieses Bauwerks aber vermögen sie nichts zu entscheiden; sie tragen vielmehr zu den vorhandenen Räthseln nur noch neue hinzu.

Die Säulenreihe macht heute einen keineswegs gewinnenden Eindruck. Um sie aber selbst in diesem Zustande zu erhalten, waren mehrmalige Ausbesserungen erforderlich. Die älteste urkundlich genannte liegt aus dem Jahre 1576, die nächste aus dem Jahre 1605 vor; die letzte erfolgte 1879. In alter wie in neuer Zeit machte sich aber wiederholt der Wunsch geltend, die Säulen zu beseitigen. Im Jahre 1548 beabsichtigte der Statthalter Fernando Gonzaga zur Verherrlichung des Einzuges Kaiser Karls V. sie abbrechen zu lassen, wurde jedoch durch den Widerstand der Bürgerschaft in seinem Vorhaben behindert. Es steht zu wünschen, dafs die Säulen den noch immer nicht verstummten Zerstörungsabsichten entgegen auch in Zukunft erhalten bleiben mögen.

Mehrere der ehrwürdigen alten Bauwerke Mailands sind in den letzten Jahren einer tüchtigen Wiederherstellung unterzogen worden. San Lorenzo, welches älter ist als sie alle, dessen Steine die Sprachen von vier grofsen Zeitaltern reden, dessen Bedeutung in dem Einflusse klar wird, welchen es wie nur wenige Denkmäler auf die Entwicklung der Baukunst geübt hat, verdient am meisten in ein würdiges Gewand gekleidet zu werden. Wird man nun auch davon absehen müssen, der Kirche ihre ursprüngliche oder auch nur ihre mittelalterliche Gestalt wiederzugeben, so bleibt doch noch genügend zu thun, um am heutigen Bau die Spuren einer unwürdigen Mifshandlung zu verwischen und ihn von dem trümmerhaften und nothdürftigen Aussehen zu befreien, in welchem er sich darbietet. Eine solche Gelegenheit würde auch leicht Anlafs bieten, verschiedene Fragen der Baugeschichte, insbesondere das Verhältnifs des heidnischen Baues zum christlichen eingehender zu untersuchen, als es dem Verfasser gestattet war.

Julius Kohte.

---

1) Ennio Quirino Visconti, Sopra le sedici colonne presso San Lorenzo in Milano. Mailand, 1811. 8°.

G. Besia in der Biblioteca Italiana. Mailand, 1830. 8°. S. 169 ff. und 1831 S. 185 ff.

C. Amati, erw. Werk von 1821; ferner ders., Succinte memorie intorno le sedici antiche colonne presso San Lorenzo esposte nella circonstanza della ricostruzione e riordinamento del Corso di Porta Ticinese. Mailand, 1831. 4°.

Das vom 22. August 1831 unterzeichnete Protocoll über die Ausgrabung befindet sich im Mailänder Staatsarchive.

1) In Aosta sind sämtliche römische Bauwerke aus diesem Gestein aufgeführt.

Das Post- und Telegraphengebäude in Hamburg.

(Mit Zeichnungen auf Blatt 50 bis 54 im Atlas.)

Die Gebäudegruppe ist in den Jahren 1883 bis 87 errichtet und enthält die Diensträume für die Ober-Postdirection nebst Ober-Postkasse, das Briefpostamt, das Fahrpostamt, ferner das Haupt-Telegraphenamt mit seinem umfangreichen Verkehr, das Fernsprechamt und endlich die Dienstwohnungen für den Ober-Postdirector, einen Postamtsvorsteher, für den Telegraphenamtsvorsteher und einen Unterbeamten. Der Verwaltungsbezirk der Ober-Postdirection umfafst aufser dem Hamburgischen Staatsgebiete noch Theile der Regierungsbezirke Lüneburg und Stade, den südöstlichen Theil der Provinz Schleswig-Holstein und das Gebiet der Freien und Hansestadt Lübeck. Das Personal der gesamten Dienststellen umfafst 932 Köpfe, und zwar: die Ober-Postdirection nebst Ober-Postkasse einen Ober-Postdirector, 3 Postrāthe, einen Postbaurath, 62 Beamte und 9 Unterbeamte; das Briefpostamt einen Postdirector, 81 Beamte und 219 Unterbeamte; das Fahrpostamt einen Postdirector, 95 Beamte und 147 Unterbeamte; das Haupt-Telegraphenamt einen Telegraphenamts-Vorsteher, 182 Beamte und 64 Unterbeamte, und endlich das Fernsprechamt einen Vorsteher, 61 Beamte und 3 Unterbeamte. Hinsichtlich des Betriebs-Umfanges wird bemerkt, dafs im Jahre 1887 die Gesamtzahl der bearbeiteten Postsendungen sich auf 56 756 520 Stück, der Geldumsatz auf 107 253 666 ℳ bezifferte, während im gleichen Zeitraum die Zahl der beim Haupt-Telegraphenamt behandelten inländischen und ausländischen Telegramme 3 370 142 Stück betrug. Bei dem Fernsprechamte sind in demselben Zeitraume täglich durchschnittlich 21 960 Verbindungen zwischen den Theilnehmern der Fernsprech-Einrichtungen hergestellt bezw. Gespräche geführt worden.

Nachdem die in Hamburg bis dahin vorhanden gewesenen Postanstalten, nämlich das Freistädtische Postamt, das Fürstlich Thurn- und Taxissche Postamt, das Königl. Preufsische Postamt, das Königl. Hannoversche Postamt, das Königl. Dänische Postamt, das Königl. Schwedische Postamt und das Grofsherzogl. Mecklenburgische Postamt, in dem Postwesen des Norddeutschen Bundes bezw. des Deutschen Reiches aufgegangen waren, mufste räumlich eine gewisse Trennung des Postbetriebes beibehalten werden, weil keines der vorhandenen Postgrundstücke ausreichte, um die Verwaltungs- und Hauptbetriebsstellen zusammen aufzunehmen. Der gewaltige Aufschwung, den das Verkehrswesen, namentlich nach der Gründung des für den Hamburgischen Handel hochbedeutsamen Weltpostvereins nahm, stellte die Postverwaltung vor die Nothwendigkeit, der für ihre eigenen, wie für die Einwohnerschaft nachtheiligen, räumlichen Zersplitterung ein Ende zu machen und die Hauptbetriebszweige mit der Verwaltungsstelle auf einem Punkte zu vereinigen. Dazu trat als weiterer zwingender Grund, dafs die aus früheren beschränkten Verhältnissen übernommenen Räumlichkeiten für die steigenden Bedürfnisse sich immer mehr als unzureichend erwiesen und in ihren gesamten Einrichtungen den Erfordernissen der Jetztzeit nicht entfernt mehr entsprachen. Mit Rücksicht hieraut entschied sich die Postverwaltung für die Errichtung eines Neubaues.

Von Seiten des Hamburgischen Staates wurde der Postverwaltung der im Osten von dem Stephansplatz, im Süden vom Dammthorwall, im Westen von der Verbindungsstrafse und im Norden von der Ringstrafse begrenzte Bauplatz gegen andere in Hamburg belegene Postgrundstücke überlassen. Das Postgebäude besteht aus drei gröfseren Bautheilen, welche nach ihrer Lage: Ostbau, Westbau und Mittelbau genannt werden (vgl. den Lageplan). Sie umschliefsen den vom Dammthorwall aus mit Zufahrt versehenen Posthof. Der Ostbau (Bl. 50 bis 52), am Stephansplatz belegen, nimmt die gröfste Fläche des unregelmäfsigen Grundstücks ein. Er enthält zwei Lichthöfe, deren gröfserer die mit Glas überdeckte Schalterhalle nebst Annahme- und Ausgabestellen aufnimmt. Der Westbau (Bl. 52 und 53) liegt an der entgegengesetzten Seite des Grundstückes und ist in Form eines regelmäfsigen Rechtecks erbaut. Der Mittelbau (Bl. 54) ist zwischen den beiden vorgenannten Gebäudetheilen längs der Nordgrenze des Grundstücks an der Ringstrafse errichtet. Ost- und Westbau haben Kellergeschofs, drei Obergeschosse und Dachgeschofs; der Mittelbau ist in seinem mittleren Theile unterkellert und dreigeschossig, in seinen Seitentheilen nicht unterkellert und zweigeschossig.

Der Ostbau enthält im ersten Geschofs die Diensträume des Briefpostamts, im zweiten Geschofs die der Ober-Postdirection und der Ober-Postkasse sowie die Briefträgerräume. Im dritten Geschofs liegen die übrigen Diensträume der Ober-Postdirection sowie die Dienstwohnungen des Ober-Postdirectors und eines Postdirectors; im Kellergeschofs befinden sich Vorraths- und Wirthschaftsräume sowie Räume für Heizzwecke u. dergl., im Dachgeschofs endlich Bodenräume sowie Räume zur Aufbewahrung von Post- und Telegraphenmaterialien.

Der Westbau enthält im Keller- und ersten Geschofs die Diensträume des Fahrpostamts nebst Zollabfertigung sowie den Geldverkehr, im zweiten und dritten Geschofs die Diensträume des Telegraphen- und Fernsprechamts sowie eine Dienstwohnung des Telegraphenamts-Vorstehers und eines Unterbeamten.

Der Mittelbau ist dem Fahrpostamt überwiesen und im Erdgeschofs als Packkammer, im zweiten Geschofs zu Bureauräumen hergerichtet. Das dritte Geschofs seines mittleren Theiles birgt die Feldpostkammer.

Zur Beförderung der Telegramme und sonstigen eiligen Schriftverkehrs zwischen den einzelnen Dienststellen ist eine Rohrpost im zweiten Geschofs des Westbaues vorgesehen. Sie ist vorläufig nur für den inneren Dienstbetrieb bestimmt und vermittelt auch den dienstlichen Verkehr mit dem Telegraphenamt in der Börse und mit dem Postamt im Dovenhofgebäude.

Bezüglich der Ausführungsweise des Gebäudes ist hervorzuheben, dafs sämtliche Mauern massiv aus Ziegeln und alle Treppen feuersicher hergestellt sind. Die Kellergeschofsräume sind durchgehends überwölbt, ebenso sämtliche Flurgänge und Treppenhäuser der oberen Geschosse. Die übrigen Räume haben Balkendecken erhalten. Die Strafsenfronten sind in einer der Bedeutung des Stadttheils angemessenen Weise ausgebildet, am Dammthorwall und an der Verbindungsstrafse in einfacher, am Stephansplatz und an der Ringstrafse in reicherer Ausführung. An Baustoffen sind für die Aufsenfronten verwendet: zum Sockel Sandstein von der Porta Westphalica, zum Erdgeschofs gelber Elbsandstein, für die übrigen Geschosse und Portale Nesselberger gelber Sandstein, für die Flächen rothe schlesische Verblendziegel. Die Lichthöfe sind mit hellen, leder-

farbenen Ziegeln verblendet. Die Eindeckung der Dächer besteht aus Holzcement, die der Kuppeln aus Zinkblech.

Hinsichtlich der inneren Ausstattung des Gebäudes waren in erster Linie Dauerhaftigkeit, Zweckmäfsigkeit und das Bestreben mafsgebend, durch allseitige Luft- und Lichtzuführung den betriebstechnischen und gesundheitlichen Forderungen in möglichst vollkommener Weise zu entsprechen. Alle Dienst- und Wohnräume haben eine mehr oder weniger einfache Ausstattung erhalten; eine bevorzugtere Ausstattung ist nur für die dem Publicum zugänglichen Räume: Vorhallen, Schalterhallen und Treppenhäuser gewählt. Die Beleuchtung des Gebäudes geschieht einstweilen noch durch Gas, die Herstellung elektrischer Beleuchtung wird aber beabsichtigt. Die Versorgung des Gebäudes mit Wasser erfolgt aus dem Rohrnetz der städtischen Leitung; das Trinkwasser liefert eine der in Hamburg bestehenden Brunnenwasserleitungen. An allen Hauptpunkten der einzelnen Gebäudeflügel sind Löschvorrichtungen angeordnet, welche bei Feuersgefahr sofort in Thätigkeit gesetzt werden können. Die sämtlichen Diensträume werden im Winter durch Centralheizungen erwärmt, und zwar der Ost- und Westbau durch eine Warmwasserniederdruckheizung mit je zwei Kesseleinrichtungen, der Mittelbau durch eine Heifswasserheizung mit zwei Ofenanlagen. Die Erwärmung der grofsen Schalterhalle im Ostbau erfolgt der isolirten Lage wegen durch Luftheizung. Die Räume der Dienstwohnungen haben Kachelöfen erhalten.

Lageplan des Post- und Telegraphengebäudes in Hamburg.

Der allgemeine Entwurf zu dem Gebäude, dessen Architektur die Formen italienischer Renaissance zeigt, ist im Reichs-Postamt aufgestellt worden. Die Leitung des Baues hat dem Postbaurath Hake obgelegen, welchem der Regierungsbaumeister Ruppel zur Seite gestanden hat. Die Gesamtbaukosten betrugen rund 2 057 400 Mark.

Vergleich des Betriebes einer Seilbahn und eines Bremsberges.

Von Ingenieur Müller, Lehrer an der Baugewerkschule in Höxter.

Die beiden Cementfabriken in Höxter beziehen ihr Rohmaterial aus Brüchen, welche auf einem 120 m hohen Berge liegen. Die eine Fabrik hat einen Bremsberg angelegt, auf welchem der mit Rohmaterial beladene Wagen den leeren hinauf befördert, während die andere Fabrik einen Seilbahnbetrieb eingerichtet hat.

Die Neigungsverhältnisse des Bremsberges (Abb. 1 und 2) sind für den Betrieb günstig. Der beladene Wagen, dessen Uebergewicht als Betriebskraft auftritt und aufser dem Gewicht des leeren Wagens dasjenige des abgewickelten, 600 m langen Drahtseils und die Reibungswiderstände zu überwinden hat, befindet sich beim Beginn seines Abstiegs in dem Gefälle 1 : 4 (Neigungswinkel 14°), während der leere in die Steigung 1 : 8 (Neigungswinkel 7° 10′) eintritt. Etwa auf halber Höhe liegt ein vermittelndes Gefälle 1 : 6 (Neigungswinkel 9° 30′). Ein Wagen wiegt leer 400 kg und fafst 0,6 cbm lose Kalksteinmasse von rund 1000 kg Gewicht. Daher ist im Anfang der Bewegung die ziehende Kraft des beladenen Wagens

$$P = (400 + 1000) \sin 14^\circ = 1400 \cdot 0{,}242 = 338{,}8 \text{ kg}$$

und die Widerstand leistende Kraft des leeren Wagens

$$P_1 = 400 \cdot \sin 7^\circ 10' = 400 \cdot 0{,}125 = 50{,}0 \text{ kg}$$

der Kraftüberschufs also $P - P_1 = 288{,}8$ kg.

Das 15 mm dicke Drahtseil wiegt auf 1 m Länge 0,70 kg; die in der Richtung des Gefälles wirkende Seitenkraft des Seilgewichts beträgt daher innerhalb

der Steigung 1 : 4 auf 240 m Länge $240 \cdot 0{,}7 \sin 14^\circ = 168 \cdot 0{,}242 = 40{,}7$ kg

„ „ 1 : 8 auf 250 m Länge $250 \cdot 0{,}7 \sin 7^\circ 10' = 175 \cdot 0{,}125 = 21{,}9$ kg

„ „ 1 : 6 auf 80 m Länge $80 \cdot 0{,}7 \sin 9^\circ 30' = 56 \cdot 0{,}165 = 9{,}2$ kg

zusammen = 71,8 kg.

Um die Reibungswiderstände der Achsen und Räder, der Bremse, der Seilscheibe und des auf 80 Rollen laufenden Seiles, sowie die Seilsteifigkeit zu überwinden, verbleibt mithin noch eine Kraft von $288{,}8 - 71{,}8 = 217$ kg. Die Reibungsverhältnisse haben sich bei Versuchen auf dieser Bremsbahn viel günstiger herausgestellt, als in der Vorberechnung angenommen werden konnte. Nachdem das Drahtseil sich gestreckt hatte und durch Unterstopfen der Schwellen die Geleisanlage vollständig geregelt war, setzten sich die Wagen an jeder Stelle der Bahn, an der sie fest gebremst waren, beim Entbremsen von selbst wieder in Bewegung. In dem Augenblick, in welchem der leere Wagen in die Steigung 1 : 4 eintritt, also noch 255 m von der Bremsstation entfernt ist, befindet sich der gefüllte Wagen um $(600 - 255) = 345$ m von derselben entfernt, also 10 m unterhalb des Brechpunktes zwischen den Gefällen 1 : 6 und 1 : 8. Der Kraftüberschufs des ziehenden Wagens über den gezogenen ist alsdann

$$P - P_1 = 1400 \cdot 0{,}125 - 400 \cdot 0{,}242 = 78{,}2 \text{ kg}$$

und die in Betracht kommende Seitenkraft des Seilgewichts für die zwischen beiden Wagen liegende Strecke

$$80 \cdot 0{,}7 \sin 9^0 30' = 56 \cdot 0{,}165 = 9{,}2 \text{ kg}$$
$$10 \cdot 0{,}7 \sin 7^0 10' = 7 \cdot 0{,}125 = 0{,}8 \text{ kg}$$

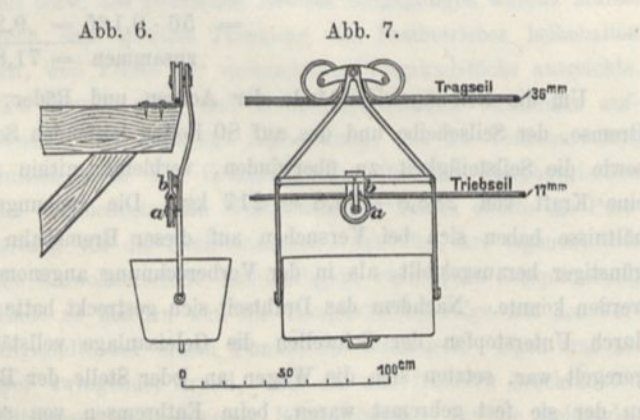
zusammen 10,0 kg.

Die gesamte ziehende Kraft ist also 88,2 kg. Diese Kraft genügt eben, um alle Reibungswiderstände im ganzen Betriebe zu überwinden, und zwar die Reibung aus dem Ruhezustande.

Das gesamte Gewicht aller im Betriebe befindlichen Theile ist: für die beiden Wagen 1800 kg, für das Drahtseil 420 kg, für je 80 unter dem Seil befindliche Leitrollen 400 kg, für die Seilscheibe 380 kg, zusammen 3000 kg, woraus sich der Reibungscoefficient dieser Bremsanlage im Durchschnitt zu $\frac{88{,}2}{3000} = 0{,}0294 = \text{rund } \frac{1}{34}$ ergiebt. Die Bremsstation ist unterirdisch in der oberen wagerechten Strecke des Berges angelegt, sodafs die Wagen über dieselbe hinweggeschoben werden müssen. In Abb. 4 und 5 ist die innere Einrichtung dargestellt. Die gufseiserne Seilscheibe mufste mit Holz ummantelt werden, da die Reibung von Eisen auf Eisen sich als zu gering herausstellte, um ein Gleiten des Drahtseils, besonders nachdem es getheert war, verhüten zu können. Die Bremse selbst besteht in einem Stahlbande, welches um die Bremsscheibe mit Hebelvorrichtung angezogen wird. Die Rollenlager für das Drahtseil liegen 7,5 m von einander entfernt und sind auf Schwellen, welche unter beiden Geleisen hindurchreichen, aufgeschraubt. Die Entfernung von Geleismitte zu Mitte beträgt 2 m und die Spurweite 0,5 m.

Die Geschwindigkeit kann durch die Bremse beliebig geregelt werden. Gewöhnlich werden die 600 m des Bremsberges in zwei Minuten zurückgelegt, sodafs die mittlere Geschwindigkeit 5 m in der Secunde beträgt.

Die Seilbahn der Eichwald'schen Fabrik (Abb. 1 und 3) macht den Gesamteindruck eines grofsen Paternosterwerkes. Es laufen in Entfernungen von 48 zu 48 m Förderwagen aus Eisenblech, welche an einem Laufradgestell mit zwei Laufrädern hängen und 300 kg Nutzlast enthalten (Abb. 6 und 7). — Das Triebseil läuft über eine Leitrolle a hinweg, welche am Laufradgestell befestigt ist. An der Stelle, wo es festsitzen soll, ist es mit einer stählernen Muffe versehen; über diese greift eine Klaue b, die durch eine Feder vom Bügel aus aufgeklemmt wird. Auf den Endstationen läuft die Klaue auf einer kleinen schiefen Ebene mit eiserner Spitze auf, wodurch sie über die Muffe gehoben wird, sodafs der Wagen frei weiterlaufen kann, um gekippt oder beladen zu werden.



Das Triebseil ist ein Drahtseil ohne Ende von 17 mm Durchmesser und läuft an jeder Endstation über eine befestigte Seilscheibe. Um dasselbe in der erforderlichen Spannung zu halten, ist auf der Antriebstation noch eine lose Seilscheibe mit zwei Rillen eingelegt, über welche das Seil nach jeder Richtung einmal ganz geschlungen ist. Diese lose Seilscheibe ist mit einem Gewicht von 1500 kg beschwert, welches genügt, um die erforderliche Spannung in demselben hervorzurufen.

Die feste Seilscheibe auf der Antriebstation steht mit der Maschine der Mahlmühle in Verbindung, durch welche der Gang des Betriebes geregelt wird. Beim Antriebe ist die Maschinenkraft erforderlich; sobald aber die gefüllten Wagen in dem Gefälle sich befinden, welches stellenweis das Verhältnifs 1 : 3 hat, wird an die Mahlmühle ein Ueberschufs an Kraft abgegeben, wodurch für dieselbe eine Nutzleistung von rund 3 Pferdekräften gewonnen wird.

Das Tragseil ist ein volles Rundeisen aus schwedischem Tiegel-Gufsstahl von 36 mm Durchmesser, auf 90 m Länge zusammengeschweifst, im übrigen durch Schraubenkupplung mit Rechts- und Linksgewinde verbunden.

Die Länge der Bahn beträgt 700 m, also die Seillänge etwas über 1400 m; an der Endstation läuft es in einer Schleife, welche durch Schrauben und Erdanker befestigt ist. Bei der Antriebstation laufen beide Seil-Enden über Scheiben und werden durch ein Gegengewicht von je 4500 kg in Spannung erhalten. Beide Tragseile sind auf der Antriebstation durch eine Weiche verbunden, auf welcher die gekippten Wagen nach dem für den Rücklauf bestimmten Seil befördert werden. Das Tragseil wird von 25 zu 25 m durch einfach gebildete Tragstationen (Abb. 8) unterstützt.

Für die Berechnung der gröfsten Spannung des Tragseils kommt in Betracht, dafs, wenn der Förderwagen in der Mitte zwischen zwei Stationen läuft, die Durchbiegung im Mittel = 0,5 m ist. Bei dieser Durchbiegung auf die freie Länge $l = 25$ m und einem Gewicht des Seiles $p = 8$ kg auf das Längenmeter beträgt die Spannung, welche durch dessen Eigengewicht hervorgerufen wird,

$$s_1 = \frac{pl^2}{8d} = \frac{8 \cdot 25^2}{8 \cdot 0{,}5} = 1250 \text{ kg}.$$

Ein Förderwagen enthält 300 kg Nutzlast und das Eigengewicht desselben beträgt 125 kg, sodafs die Belastung der Mitte des Seiles $P = 425$ kg ist. Die hieraus entstehende Spannung im Scheitel der Durchbiegung ist

$$s_2 = \frac{Pl}{8d} = \frac{425 \cdot 25}{4 \cdot 0{,}5} = 5312{,}5 \text{ kg},$$

also die ganze Seilspannung $S = s_1 + s_2 = 6562{,}5$ kg.

Bezeichnet q den Querschnitt des Seiles $= 1{,}8^2 \cdot 3{,}14 = 10{,}17$ qcm, so ist die stärkste vorkommende Spannung auf 1 qm $k = \frac{S}{q} = \frac{6562{,}5}{10{,}17} = 645$ kg, eine im Verhältnifs zur Güte des Materials geringe Beanspruchung.

Da das Gegengewicht sich nicht hebt und senkt, wenn irgend eine Durchbiegung des Tragseils eintritt, so mufs dieselbe durch seitliche Durchbiegung der langen Stiele der Tragstationen hervorgerufen werden. Eine Durchbiegung derselben von 1 cm nach der belasteten Mitte zu ruft bereits die Senkung des Seiles von 50 cm in der Mitte hervor; hierbei tritt als

günstiger Umstand auf, dafs die beiden Nachbarstationen auf 25 m Länge unbelastet sind; aufserdem lagert das Seil lose auf den Stützpunkten. Der gröfste Längenunterschied des Tragseils, welcher durch Wärmewechsel im Winter und Sommer hervorgerufen und durch Heben der Gegengewichte beobachtet worden ist, beträgt 1 m, das macht auf 1 m bei 710 m Länge $\frac{1}{710} = 0{,}0014$ m.

Ein Vergleich des Betriebes beider Bahnanlagen, die sonst unter denselben Bedingungen fördern, fällt entschieden zu gunsten der Seilbahn aus. Dieselbe fördert ununterbrochen in je 54 Secunden einen Wagen, sodafs bei 48 m Entfernung der Wagen von einander die Geschwindigkeit 0,9 m in der Secunde beträgt. Durch eine selbstthätige Signalvorrichtung bezeichnet die am Triebseil befestigte kleine Muffe den Augenblick, in welchem der gefüllte Wagen an der bestimmten Stelle anzuhängen ist.

In dem ganzen Betriebe ist jede Stofswirkung ausgeschlossen. Die frei in der Luft schwebenden Wagen haben einen ruhigen, gleichmässigen Gang und schlagen auch beim Kippen nicht auf; der Verschleifs an Wagen ist daher geringer als beim Bremsberge. Zum Füllen im Bruche werden die Wagen auf Weichen nach den betreffenden Ladestellen übergeführt; es sind deren stets 36 im Betriebe.

Um die Abnutzung des Betriebseiles zu verringern, wird die kleine Muffe alle zwei Monate um 15 cm am Seile verschoben, da die um die Muffe fassende Klaue das Seil angreift.

Auch die Sicherheit des Betriebes ist bei der Seilbahn bei weitem gröfser, indem bei dem Bremsberge das Herabfallen eines Steines die Entgleisung eines Wagens herbeiführen kann, während die Seilbahn — selbst bei Sturmwind — keine Entgleisung aufzuweisen hat.

Müller.

Abb. 2. Bremsberg.

Abb. 3. Seilbahn.

Abb. 1. Lageplan.

Abb. 4.

Abb. 4 u. 5. Bremsstation.

Abb. 5.

Abb. 8. Tragstation der Seilbahn.

Bremsberg und Seilbahn der beiden Cementfabriken in Höxter.

Die Strafsenbrücke über die Norder-Elbe bei Hamburg.

(Mit Zeichnungen auf Blatt 36 bis 44 im Atlas.)

(Schlufs.*)

B. Die Bauausführung.

I. Geschichtliches.

Nachdem durch Senats- und Bürgerschafts-Beschlufs vom 26./21. Februar 1883 der „Generalplan und Generalkostenanschlag für den Zollanschlufs“ und damit die Ausführung des ersteren genehmigt war, wurde mit vielen anderen Theilen dieser grofsen baulichen Neugestaltung auch der Bau der neuen Elbbrücke nebst den anschliefsenden Strafsen- und

*) Hinsichtlich der auf Seite 236 angeführten Formeln $H = P\frac{3a(l-a)}{4fl}$ und $\frac{K}{L} = \frac{l^2}{k^2}$, welche zuerst von Professor Engesser (Karlsruhe) aufgestellt sind, sei auf die Mittheilungen des Professors Müller-Breslau (Berlin) im gegenwärtigen Jahrgang des Centralblatts der Bauverwaltung, Seite 254, verwiesen.

Brücken-Anlagen dem städtischen Ingenieurwesen und somit der Oberleitung des Oberingenieurs F. Andreas Meyer übertragen, unter welchem eine besondere von dem Ingenieur C. O. Gleim geleitete Bauabtheilung im Laufe des Jahres 1883 den Entwurf und die Ausführung des Brückenbaues nebst Zubehör übernahm. Die besondere Bauleitung auf der Baustelle war dem Regierungsbaumeister H. Engels übertragen unter zeitweiser Mitwirkung der Ingenieure O. Meyer, E. Riggenbach und H. Blascke, welche auch die Entwürfe der Steinconstructionen bearbeiteten. Der eiserne Ueberbau wurde von den Ingenieuren O. Schertel und F. Ekert entworfen und demnächst bei der Herstellung in der Werkstatt, bezw. bei der Aufstellung überwacht. Die architektonische Ausbildung der Brücke ist in erster Linie der ganz besonderen Fürsorge und Anregung F. A. Meyer's zuzuschreiben. Die endgültige Gestaltung der Portalbauten, für welche die genaueste Kenntnifs der mittelalterlichen norddeutschen Backsteinarchitektur unerläfslich war, wurde dem Architekten W. Hauers übertragen, welcher unter Mitwirkung des Architekten Aug. Pieper die Portale in der ausgeführten Form im ganzen wie im einzelnen entworfen und somit einen namhaften Antheil an der Entstehung des Werkes gewonnen hat.

Wenn auch der Anschlufs Hamburgs an das deutsche Zollgebiet, den Vereinbarungen mit der Reichsregierung gemäfs, erst im October 1888 zu erfolgen hatte, mufste der Verkehr über die neue Brücke doch erheblich früher eröffnet werden, damit im Interesse der Fertigstellung des südelbischen Segelschiffhafens die Dampffähre möglichst früh aufgehoben werden konnte. Es wurde daher als Bauprogramm aufgestellt, die Brücke vor dem Winter 1886/87 dem Verkehr zu übergeben. Da die Vorarbeiten und Bauentwürfe das Jahr 1883 vollständig in Anspruch nahmen, so standen anfänglich nur die drei Baujahre 1884 bis 1886 zur Verfügung, für welche der folgende Arbeitsplan aufgestellt wurde:

1. Baujahr (1884): Fundirung sämtlicher Pfeiler, gänzliche Fertigstellung der beiden Strompfeiler;
2. Baujahr (1885): Herstellung der beiden Portalpfeiler bis zur Auflagerhöhe des eisernen Ueberbaues (+ 18,80 m), desgl. der nördlichen Fluthbrücke und der südlichen Landpfeiler;
3. Baujahr (1886): Herstellung des gesamten eisernen Ueberbaues sowie der südlichen Fluthgewölbe, Aufbringung der ganzen Fahrbahndecke und Fertigstellung des nördlichen Portals.

Da die Herstellung des südlichen Portalaufbaues während des Verkehrs über die Brücke erfolgen konnte, war diese für das Jahr 1887 in Aussicht genommen.

Im ersten Baujahre gelang es, trotzdem die Vorbereitungen sich so verzögerten, dafs erst am 19. Juni beim nördlichen Strompfeiler der erste Pfahl zum Absteckungsgerüst gerammt werden konnte, doch, die beabsichtigten Arbeiten mit Ausnahme der obersten, durch verspätete Werksteinlieferungen verzögerten Schichten der Strompfeiler fertigzustellen. Auch im zweiten Baujahre wurde der Arbeitsplan im wesentlichen eingehalten.

Da die nähere Gestaltung der Pfeiler erst während der Bauausführung bearbeitet und festgestellt werden konnte, und hierbei besonders in Betracht kam, dafs die Frage, in welchem Umfange die Ausführung der einzelnen Bautheile von vornherein auf die spätere Verbreiterung der Brücke ausgedehnt werden solle, schrittweise in einzelnen Beschlüssen der Behörden zur Erledigung kam, war die Vergebung der Arbeiten in einer oder mehreren Gesamtunternehmungen ausgeschlossen und ein Verfahren bedingt, nach welchem die Arbeiten theils im einzelnen verdungen, theils unter unmittelbarer Leitung der Bauverwaltung ausgeführt und die Baumaterialien in der Regel getrennt beschafft wurden.

Im dritten Baujahre (1886) zwangen die ungünstigen Witterungsverhältnisse des Frühjahres zum Aufgeben des Arbeitsplanes. Da nämlich die Aufstellung des eisernen Ueberbaues nicht gleichzeitig für alle drei Stromöffnungen erfolgen konnte, vielmehr im Interesse der Schiffahrt stets eine Oeffnung frei bleiben mufste, waren in dem am 25. Juli 1885 mit der Actien-Gesellschaft Harkort in Duisburg über die Herstellung des eisernen Ueberbaues abgeschlossenen Vertrage bezüglich der Fertigstellungsfristen folgende Bedingungen vorgeschrieben:

„Die Arbeiten sind baldthunlichst in Angriff zu nehmen und so zu fördern, insbesondere auch die Gerüste so zeitig im Frühjahr 1886 nach Abgang des Eises auf der Elbe zur Ausführung zu bringen, dafs der eiserne Ueberbau in der ersten Brückenöffnung bis zum 30. Juni, in der zweiten bis zum 31. Juli, und in der dritten bis zum 15. October 1886 fertig und freitragend aufgestellt ist, und innerhalb je zehn weiterer Tage die über die Fahrbahn hinaufragenden Theile der Montirungsgerüste, sowie innerhalb eines Monats die sämtlichen Gerüste vollständig beseitigt sind."

Hierbei war angenommen, dafs der Eisgang auf der Elbe in gewöhnlicher Weise verlaufen werde, d. h. dafs etwa Ende Februar mit der Aufstellung der Rüstung in der nördlichen Stromöffnung begonnen werden könne. Statt dessen trat nun in Wirklichkeit gerade in diesem Jahre der Eisgang aufsergewöhnlich spät und stark ein, am 29. und 30. März, (im Jahre 1885 war die Elbe bereits am 7. Februar eisfrei), sodafs erst am 7. April die Rammarbeiten für die Wasserjoche in der nördlichen Spannweite in Angriff genommen werden konnten. Dieser Zeitverlust von rund $1\frac{1}{2}$ Monaten konnte bei den ohnehin sehr knapp bemessenen Fristen nicht mehr eingeholt werden, und es stellte sich heraus, dafs erst Ende September die nördliche Stromöffnung für die Schiffahrt wieder frei werden, also dann erst mit der Herstellung der Gerüste für die südliche Stromöffnung begonnen werden konnte, sodafs die Rüstungen in dieser Oeffnung etwa bis Anfang Januar stehen bleiben mufsten. Wenn auch für die Brücke selbst dieses unbedenklich erschien, da bei etwaiger Fortnahme der Rüstung durch Eisgang der eiserne Ueberbau bereits freitragend gewesen wäre, so wurde doch nach Berathung mit der Strom- und Hafenbau-Verwaltung, welche in der Verengung des Durchflufsprofils durch eingerammte Joche eine Vermehrung der Eisganggefahren — Eisversetzungen und Eisstopfungen oberhalb — erblickte, die Inangriffnahme der Rüstungsarbeiten für die südliche Oeffnung bis auf das nächste Frühjahr verschoben. Infolge dessen verzögerte sich die Fertigstellung des eisernen Ueberbaues der südlichen Stromöffnung bis Anfang Juni 1887, sodafs erst am 16. Juli 1887, ungefähr drei Jahre nach der Inangriffnahme des Baues, die Brücke dem Verkehr übergeben werden konnte. — Kurze Zeit vorher, am 4. Juni 1887, wurde der Brücken-

bau durch den Besuch der von der Grundsteinlegung zum Nord-Ostsee-Canal aus Kiel zurückkehrenden Mitglieder des Bundesraths und Reichstages beehrt, bei welcher Gelegenheit auf der mittleren Spannweite der Strombrücke unter einem Zeltdache ein Frühstücksmahl eingenommen wurde.

In der Fertigstellung der Portalaufbauten trat infolge unregelmäfsiger Lieferung der Verblend- und Formziegel, deren allerdings ohngefähr 130 verschiedene Sorten zu liefern waren, eine solche Verzögerung ein, dafs das nördliche Portal erst im August 1887 fertiggestellt wurde, während die Vollendung des Südportals sich bis zum Juli 1888 hinzog.

Eine Arbeit, welche sich gleichfalls über die Zeit nach Eröffnung der Brücke hinaus erstreckte, war die Verbreiterung der Fluthgewölbe auf das Gesamtmafs der zukünftigen Brückenbreite, welche erst Ende 1886 zur Ausführung genehmigt wurde. Aus der nachträglichen Anfügung dieser Verbreiterung erklärt sich auch der starke Querschnitt der Zwischenmauer, welche bis nach erfolgter Herstellung der Verbreiterung als östliche Stirnmauer den einseitigen Druck des Strafsenkörpers aufzunehmen hatte. Um die bei Einwölbung der Fluthgewölbe für die Strafsenbrücke während der vorhergehenden zwei Bausommer bereits benutzten Lehrgerüste wieder verwenden und zur Ersparung an Kosten auch die Verbreiterung der Gewölbe ebenso wie bei dem vorhandenen Theile derselben in zwei Zonen herstellen zu können, waren die beiden Bausommer 1887 und 1888 erforderlich.

Die gänzliche Vollendung der Brücke mit diesen nachträglichen Ergänzungen hat daher erst im Herbst 1888 stattgefunden. Um etwa dieselbe Zeit (am 16. September 1888) fand die Eröffnung der in ihrer Verlängerung liegenden Billhorner Brücke statt, kurz vor dem am 15. October 1888 eingetretenen Zollanschlusse Hamburgs.

Der in den einzelnen Jahren stattgehabte Baufortgang ist umstehend (S. 339/40) zeichnerisch dargestellt.

2. Bohrungen.

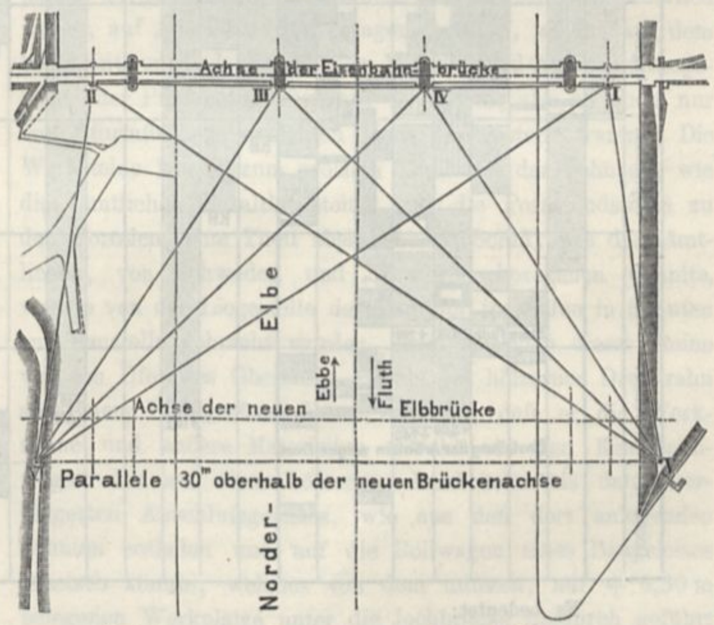
Die Ausführung der Bohrungen auf dem Lande für die Untersuchung des Baugrundes erfolgte anfänglich mittels Löffelbohrer. In gröfserer Tiefe — etwa von 2 m an — wurde jedoch das Spülbohrverfahren angewendet und damit eine erhebliche Beschleunigung der Arbeit erzielt.

Bei den beiden Bohrlöchern in der Elbe wurde der dreibeinige Gerüstbock zur Aufhängung des Bohrgestänges auf zwei verankerten Schuten aufgestellt, welche derart fest mit einander verbunden waren, dafs zwischen ihren Seitenwänden ein zur Hinunterführung des Futterrohres genügender Spielraum verblieb. Da bei dem Spülbohrverfahren die geförderten Bohrproben nie so zuverlässig sind, wie bei der trocknen Bohrung, so wurde seitens der mit der Ausführung dieser Bohrungen beauftragten Firma F. H. Desenifs u. H. Jacobi in Hamburg zunächst versucht, ein Bohrloch mittels Ventilbohrer herzustellen. Nach Erreichung der ersten 55 cm Tiefe mufste aber auch hier die Spülbohrung zur Anwendung kommen, da es sich als unmöglich erwies, mit dem Ventilbohrer gröfsere Tiefen zu erreichen. Zu dem Ende wurde in das Futterrohr von 75 mm lichter Weite ein 37 mm weites Spülrohr eingeführt. Das aus dem unteren Ende des letzteren entströmende, von einer Handpumpe erzeugte Druckwasser wühlte den Sandboden auf und trat — mit letzterem beladen — am oberen Ende des Futterrohres, zwischen diesem und dem Spülrohr aufsteigend, wieder aus, wurde dort in flache Holztröge aufgefangen und durch ruhiges Stehen zum Abklären gebracht, sodafs die zu Boden geschlagenen Sinkstoffe als Bodenproben entnommen werden konnten. Um den Austritt des Druckwassers unten aus dem Druckrohre zu erleichtern und damit die Bohrung zu beschleunigen, war letzteres an seinem unteren Ende auf 100 mm Länge doppelt aufgeschlitzt und nach aufsen etwas umgebogen, sodafs die beiden Schlitze sich nach unten erweiterten.

Bei den Bohrungen auf dem Lande wurden in achtstündiger wirklicher Arbeitszeit — die Bohrungen wurden Anfang Januar 1884 vorgenommen — im Durchschnitt täglich 2,7 lfd. m Bohrloch hergestellt, während auf der Elbe diese Durchschnittsleistung 4,1 m betrug. Die Kosten für die ersteren Bohrungen betrugen 7,61 ℳ, die der letzteren 12,37 ℳ für das Meter Tiefe. Ueber die erreichten Tiefen der Bohrlöcher und die gefundenen Bodenarten giebt Blatt 36 und 37, Abb. 3 Aufschlufs.

3. Absteckungsarbeiten.

Die Absteckung der Brückenachse und der Pfeilerachsen wurde durch das Vorhandensein der so nahe unterhalb belegenen parallelen Eisenbahnbrücke mit der gleichen Pfeilerstellung sehr erleichtert. Der Gang der Absteckung war ohngefähr folgender:

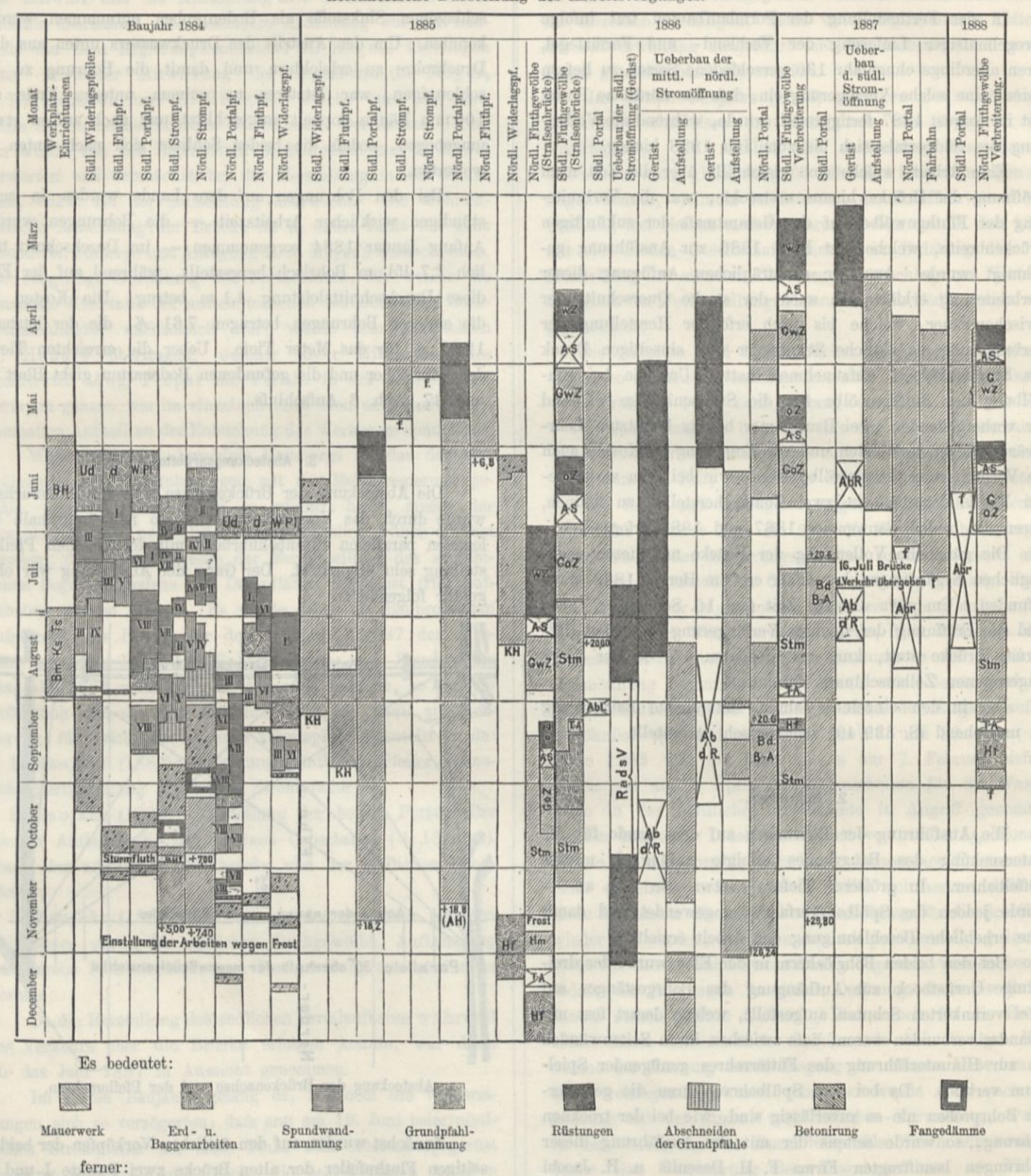


Absteckung der Brückenachse und der Pfeilerachsen.

Zunächst wurden auf den östlichen Vorköpfen der beiderseitigen Fluthpfeiler der alten Brücke zwei Punkte I und II (vergl. vorst. Abb.) durch 12 cm lange und 2 cm weite in das Mauerwerk eincementirte Röhren derart festgelegt, dafs die Linie I-II parallel zur Brückenachse war. Die Länge dieser als Basis für die weitere Absteckung dienenden Linie wurde auf der zunächst liegenden wagerechten Eisenbahnschiene entlang in sorgfältigster Weise unter Berücksichtigung der Temperatureinwirkungen gemessen. Als Mafseinheit diente der am städtischen Vermessungsbureau vorhandene sogenannte

Comparator aus Messing, welcher dem gesamten Hamburgischen Vermessungswesen zu Grunde liegt und bei 16,25° C. eine Länge von genau 3 m hat. Mit diesem wurden sowohl die 3 m langen tannenen mit rechtwinkligen Stahlkappen an den Enden versehenen Mafsstäbe, welche zur Absteckung benutzt wurden, wie auch später die zur Zulage in der Werkstatt des eisernen Ueberbaues benutzten eisernen Mafsstäbe genau verglichen.

Zeichnerische Darstellung des Arbeitsvorganges.



ferner:

AbL Abbruch des Laufkrahns. **AbdR** Abbruch der Rüstungen. **Abr** Abrüstung. **AH** Auflagerhöhe. **AS** Aufbringen der Steine. **BdBA** Beginn des Backstein-Aufbaues. **BH** Bauhütte. **BmKsTs** Betonmühle, Kalkschuppen und Trafsschuppen. **f** fertig. **GoZ** Gewölbe der östlichen Zone. **GwZ** Gewölbe der westlichen Zone. **Hf** Hinterfüllung. **Hm** Hintermauerung. **KH** Kämpferhöhe. **oZ** östliche Zone. **RadsV** Rüstungen auf dem südlichen Vorlande. **Stm** Stirnmauern. **TA** Tectolith-Abdeckung. **UdWPl** Umdeichung des Werkplatzes. **wZ** westliche Zone.

Von der so bestimmten Basis aus wurde nun eine 30,0 m oberhalb der neuen Brückenachse belegene Parallele durch Winkelmessung bestimmt, deren Festpunkte V und VI in hochwasserfreier Lage durch 30 cm unter Erdoberfläche eingegrabene 80 cm lange und 10 cm im Geviert starke Lochpfähle festgelegt wurden. Des ferneren wurden die Vorkopfmitten III und IV der alten Strompfeiler, welche nicht durch unmittelbare Messung zugänglich waren, durch das

auf S. 338 abgebildete Winkelnetz festgelegt und für die Absteckungen der neuen Strompfeiler verwerthet. Durchweg wurde das Verfahren beobachtet, die gesuchten Absteckungspunkte nicht unmittelbar durch Einschneiden der betreffenden Sehlinien festzulegen, sondern Festpunkte in ihrer ungefähren Lage anzunehmen, diese mit aller Genauigkeit in das Dreiecksnetz einzubeziehen, und die danach berechneten kleinen Abweichungen der gesuchten Punkte durch unmittelbare Messung abzusetzen.

Während vorstehende Messungen seitens des städtischen Vermessungsbureaus (Geometer Wittenberg) vorgenommen wurden, bewirkten die bauleitenden Ingenieure die Einzelabsteckung für die Rammarbeiten unter Zuhülfenahme der Parallelen V-VI bezw. der Punkte I-IV.

Zur Erleichterung der Absteckung für die Gründungsarbeiten der Strompfeiler wurden oberhalb derselben (vergl. Blatt 40, Abb. 1) in der Linie V-VI besondere Absteckungsgerüste auf eingerammten Pfählen errichtet. Durch Absetzung der Winkel mittels Theodoliths von den Punkten III und IV aus wurden die Schnittpunkte der verlängerten Pfeilerachsen mit der Parallele V-VI festgelegt, sodafs es leicht war, die Lage der Grundpfähle und Pfahlwände mit einer für die Rammarbeiten genügenden Genauigkeit zu bestimmen.

Sobald die Pfeilerkörper durch den eingebrachten Beton unverrückbar festgelegt waren, wurde die parallele Hülfslinie aufgegeben und seitens des Vermessungsbureaus für jeden Pfeiler die Brücken- und die Pfeilerachse genau eingemessen und auf der Umschliefsungswand des Grundbaues durch Sägeschnitte festgelegt.

Die bei den späteren unmittelbaren Messungen auf den Gerüsten des eisernen Ueberbaues gefundenen kleinen Abweichungen der wirklichen Längen gegen die Soll-Längen betrugen:

von Achse nördl. Portal bis Achse nördl. Strompfeiler 2 mm
„ „ „ Strompfeiler bis Achse südl. „ 12 „
„ „ südl. „ „ „ „ Portal 11 „

Dieselben konnten durch Verschiebung der Auflager auf den beiden Portalpfeilern leicht ausgeglichen werden.

4. Werkplatzeinrichtung.

(Bl. 40, Abb. 1.)

An der Brückenbaustelle wird die Elbe beiderseitig begrenzt durch 80 bis 90 m breite, i. M. auf + 5,0 m liegende Vorländer, welche also den täglichen Ueberschwemmungen durch die Fluth ausgesetzt sind. Das südliche Vorland wird durch den die hinterliegende Marsch schützenden Winterdeich abgeschlossen, während am nördlichen Ufer das auf + 9,0 m, also hochwasserfrei gelegene Gelände des Rangirbahnhofs der Venlo-Hamburger Bahn anschliefst, dessen südöstlicher dreieckiger Ausläufer im Wege eines Flächenaustausches für den Hamburgischen Staat erworben war. Diese etwa 2700 qm grofse Fläche war somit der einzige hochwasserfrei gelegene Platz, der als Werkplatz zur Verfügung stand. Anderseits bot derselbe den Vortheil eines unmittelbaren Geleisanschlusses. Auf demselben fanden Aufstellung die Bauhütte, sowie die Baulichkeiten für die Aufbewahrung der sämtlichen hochwasserfrei zu lagernden Baumaterialien, wie Trafs, Kalk und Cement, sowie für die keine Unterbrechung durch Hochwasser duldenden Arbeiten zur Anfertigung von Beton und Mörtel. Es wurden also hier errichtet die Trafsmühle nebst Trafslagerschuppen, der Kalkschuppen mit den Löschbühnen, sowie die Betonmühle nebst zugehörigem Maschinenschuppen. Auf dem noch verbleibenden Raum nördlich von der Trafsmühle wurden die zu vermahlenden Tuffsteine gelagert. Letztere kamen mit Segelschiffen (über Rotterdam) an der Baustelle an und wurden auf einem am Oberhafen-Canal angelegten Stege ausgekarrt. Da in Nothfällen — bei Beschädigungen der Trafsmühle oder beim Ausbleiben der Tuffsteine — der Trafs unmittelbar mit der Bahn bezogen werden mufste, so war der Trafsschuppen an das über den oberen Werkplatz führende Anschlufsgeleis gelegt. Eine gleiche Lage war für den Kalkschuppen — es wurde Elzer Wasserkalk mit der Bahn bezogen — nothwendig. Die Betonmühle wurde über das Ufer des Oberhafen-Canals auf Pfählen hinausgebaut, sodafs der Beton unmittelbar in die Schuten behufs Weiterbeförderung nach den einzelnen Baustellen fiel, während die zum Betriebe dienende Maschine in einem auf dem Lande errichteten Schuppen Platz fand.

Damit war der hochwasserfreie Werkplatz gänzlich besetzt. Die Baumaterialien, welche unbedenklich dem Wasser ausgesetzt werden konnten, wie der von der Oberelbe zu Schiff angefahrene Schotter, die ebenfalls zu Schiff bezogenen Ziegelsteine und der aus der Elbe gebaggerte Mauersand, wurden zum Theil ohne weiteres auf den niedrigen Vorländern gelagert, während sie auch theilweise ebenso wie die sämtlichen Werksteine, bei denen eine sorgfältige Abnahme durch Messung, sowie häufig Nacharbeiten erforderlich waren, auf Anschüttungen gelagert wurden, welche auf dem beiderseitigen Vorlande aus dem Bagger- und Ausschachtungsboden der Pfeilerbaugruben auf + 6,30 m, also in einer nur von Sturmfluthen erreichten Höhe, hergestellt waren. Die Werksteine kamen zum gröfsten Theil mit der Bahn an, wie die sämtlichen Basaltlavasteine und die Portasandsteine zu den Portalen, zum Theil aber auch zu Schiff, wie die sämtlichen, von Schweden und Norwegen bezogenen Granite, welche von der Liegestelle der Dampfer im Hafen in Schuten zur Baustelle gebracht wurden. Zum Entladen dieser Steine war am Ufer des Oberhafen-Canals ein hölzerner Drehkrahn auf einem Pfahlgerüste derart errichtet, dafs er die Werksteine und andere Materialien sowohl aus den Eisenbahnwagen des auf einer hölzernen Jochbrücke bis dahin verlängerten Anschlufsgeleises, wie aus den dort anlegenden Schuten entladen und auf die Rollwagen eines Baugeleises absetzen konnte, welches von dem unteren, auf + 6,30 m belegenen Werkplatze unter die Jochbrücke hindurch geführt war. Aufserdem diente der Drehkrahn zum Beladen der Schuten mit den für die Strompfeiler und zum Theil auch für die südlichen Landpfeiler bestimmten Baumaterialien. Uebrigens wurde später für letzteren Zweck noch ein eiserner Handdrehkrahn auf einem Pfahlgerüst am Elbufer aufgestellt, ebenso wie ein solcher zur Entladung von Schuten am südlichen Ufer errichtet war. Sowohl auf dem nördlichen, als auch auf dem südlichen Werkplatz waren normalspurige Baugeleise mit hölzernen Drehscheiben angelegt, welche auch unter die Versetzgerüste der Portalpfeiler geführt wurden. Die Be- und Entladung der Rollwagen an den Lagerplätzen der Werksteine erfolgte mit Hülfe von

hölzernen fahrbaren Drehkrähnen. Die Werksteine waren mit Schlüssellöchern versehen, während Ziegelsteine und andere Baumaterialien mittels hölzerner Steinteller gehoben wurden. Die Tragfähigkeit sämtlicher Hebevorrichtungen war auf 2000 kg bemessen, und wurden hiernach die Abmessungen der Werksteine usw. bestimmt.

Um bei den Gründungsarbeiten der Landpfeiler von den täglichen Fluthen unbehelligt zu sein, wurden die Pfeilerbaustellen durch besondere mit ihrer Krone auf + 6,3 m liegende Schutzdeiche im Zusammenhange mit den erwähnten Werkplatzanschüttungen abgeschlossen. Unter diesen beiderseitigen Schutzdeichen wurden je zwei hölzerne Sielkasten mit selbstthätigen Verschlufsklappen durchgeführt. Um bei eintretenden Ueberfluthungen der Krone Beschädigungen zu verhüten, wurden die eingedeichten Baugruben bei drohenden Sturmfluthen durch Oeffnen der Klappen gleichzeitig mit dem Anwachsen der Elbe unter Wasser gesetzt.

Die beiderseitigen Werkplätze waren an die städtische Wasserleitung angeschlossen, wodurch insbesondere das Nässen der Ziegelsteine, das Löschen des Wasserkalks, sowie die Beton- und Mörtelbereitung und das Abwaschen des Mauerwerks erheblich erleichtert wurden.

Da im ersten Baujahre — insbesondere bei der Betonirung, sowie bei der Aufmauerung der Strompfeiler — ein theilweiser Nachtbetrieb erforderlich war, so wurden — unter leihweiser Beschaffung einer Dynamomaschine nebst 8pferd. Locomobile, welche im Maschinenschuppen der Betonmühle Platz fanden, sowie der sonstigen Beleuchtungsgegenstände — sieben Bogenlichtlampen derart aufgestellt, dafs sie gleichzeitig die beiden Strompfeilerbaustellen, den Platz vor der Betonmühle am Wasser, den Lagerplatz der Betonirungsmaterialien und die für die Zufuhr der letzteren dienenden Karrstege beleuchteten. Die gesamten für die elektrische Beleuchtung aufgewendeten Kosten haben 5139 ℳ betragen. Die Beleuchtung der beiden Strompfeiler machte die Verlegung eines Kabels in der Elbe nothwendig. Zum Schutze desselben wurde das Ankern an der Baustelle verboten. Im übrigen waren zum Schutze der Strompfeilerbaustellen, sowie später der Montirungsgerüste, polizeiliche Verordnungen erlassen, welche allen vorbeikommenden Schiffen „Langsam fahren“ zur Pflicht machten.

Es mag hier noch Erwähnung finden, dafs für die Bauausführung zuerst die Anlage einer Drahtseilförderbahn quer über die Elbe in der Höhe der späteren Brückenfahrbahn geplant war, welche den Schiffsverkehr nicht mehr behindert haben würde, als die benachbarte Eisenbahnbrücke und die geplante neue Brücke. Dieser Plan, welcher eine wesentliche Ersparnifs versprach, mufste jedoch wegen des Widerstandes der Strompolizei-Verwaltung fallen gelassen werden, da man fürchtete, dafs bei dunklem Wetter, Nebel u. dgl. die quer über den Strom gespannten Drahtseile schlecht sichtbar seien und somit die zahlreich an der Baustelle verkehrenden, mit stehendem Mast fahrenden Segel-Ewer gefährden könnten. Die Seilbahn aber so hoch zu legen, dafs die Ewer mit den höchsten Masten jederzeit unter derselben hinwegfahren konnten, erschien unzweckmäfsig, da mit der zunehmenden Höhe die Rüstungen im Strome zu schwerfällig und kostspielig geworden wären.

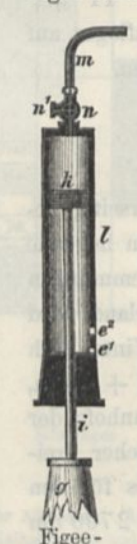
5. Baggerarbeiten.

Die vor Inangriffnahme der Rammarbeiten bewirkte Ausbaggerung der Baugruben für die Strompfeiler erfolgte nicht — wie z. B. seinerzeit bei der benachbarten Eisenbahnbrücke und der Thorner Weichselbrücke — unterhalb einer vorher geschlagenen Schutzwand, da letztere den von der Strom- und Hafenbau-Verwaltung zur Verfügung gestellten grofsen Dampfbagger mit sehr langer Vorderkette an seiner freien Bewegung gehindert haben würde. Vielmehr wurde nur die Vorsicht beobachtet, die Baggergruben, um das Wiederzusanden derselben zu verhindern, in verhältnifsmäfsig grofser Ausdehnung herzustellen — etwa 60 × 30 m — und im übrigen die weiteren Arbeiten thunlichst zu beschleunigen. Obwohl erst vier Wochen nach Beendigung der Baggerungen mit dem Rammen der umschliefsenden Pfahlwände begonnen werden konnte, stellten sich doch keine schädlichen Versandungen ein, sodafs sich das gewählte Verfahren als zweckmäfsig bewährt hat, und nach Fertigstellung der Pfahlwände nur geringe, mit Beutelbaggern ausgeführte Nachtiefungen der Sohlen erforderlich waren.

6. Rammarbeiten.

a) Allgemeines.

Die Rammarbeiten für die sämtlichen Pfeilerfundamente wurden auf Grund einer öffentlichen Ausschreibung nach Einheitspreisen an die Zimmermeister Hintzpeter u. v. d. Sahl in Hamburg vergeben. Da in Hamburg zwar Dampfkunstrammen in grofser Verbreitung, direct wirkende Dampframmen aber nicht üblich waren, wurde es auf Grund der Erfahrungen beim Bau der alten Elbbrücke, bei welchem Nasmyth-Rammen verwandt waren, erforderlich erachtet, für die Pfahlwände und Grundpfähle der beiden Strompfeiler die Verwendung von direct wirkenden, schnell schlagenden Dampframmen vorzuschreiben. Demgemäfs stellten die Uebernehmer neben sieben Dampfkunstrammen der bekannten Ausführung von Menck u. Hambrock zwei direct wirkende Rammen des Figee'schen Systems in Betrieb.



Figee-Ramme.

Bei den von den Gebrüdern Figee in Haarlem erbauten Dampframmen, welche eine Anwendung des 1876 in Frankreich patentirten Systems Lacour sind, besteht nach nebenstehender Abbildung der direct wirkende Rammbär aus einem hohlen gufseisernen Klotz l, welcher als Dampfcylinder ausgedreht, im unteren Theile aber zur Erzielung des erforderlichen Gewichtes voll belassen ist. Der in den Cylinder eingepafste Kolben k ruht vermittelst der Kolbenstange i auf dem Kopfe des einzurammenden Pfahles g. Tritt nun durch die Schlauchleitung m, in welche ein Dreiwegehahn eingeschaltet ist, Dampf aus dem Kessel in den Hohlraum des Rammbären, so hebt sich der letztere, während die Kolbenstange i auf dem einzurammenden Pfahle ruhen bleibt. Die Luft und das Condensationswasser treten durch das Loch e^1 aus. Das Loch e^2 dient zum Austritt des Dampfes, wenn der Rammcylinder seine gröfste Höhe erreicht hat. In diesem Augenblicke wird der Dreiwegehahn n durch ein daran befestigtes Zugseil von Hand gedreht, sodafs die Dampfzuführung in das Bärgehäuse

unterbrochen wird, und der in demselben vorhandene Dampf durch n^1 entweicht. Infolge dessen fällt der Rammbär auf den Pfahl g hinab. Jetzt wird durch Rückdrehung des Dreiwegehahns wieder Dampf zugelassen, wodurch sich das Spiel erneuert. Die Zahl der Schläge beträgt 30 in der Minute.

Die Figee-Rammen unterscheiden sich vortheilhaft von den Nasmyth'schen Rammen durch eine einfachere Steuerung, welche geringeren Zufälligkeiten und Ausbesserungen ausgesetzt ist, sowie durch wesentlich geringere Kosten und eine geringere Schwerfälligkeit der ganzen Vorrichtung. Ein Mangel, der sich beim Gebrauche herausstellte, bestand in dem Aufweichen der Pfahlköpfe durch das Condensationswasser und den Abdampf, sodafs bei schwierigen Rammungen ein öfteres Anschneiden eines neuen Pfahlkopfes nothwendig wurde. Dieser schädliche Einflufs des Condensationswassers auf den Pfahlkopf, welcher übrigens schon durch die Anbringung eines seitlichen Röhrchens bei e^1 vermindert werden kann, ist später bei anderweitigen hamburgischen Zollanschlufsbauten durch eine von Menck u. Hambrock eingeführte Verbesserung, bei welcher die untere Durchbohrung des Rammcylinders mit ihren Undichtigkeiten wegfällt, vermieden worden. Bei dieser Anordnung ist nämlich die Kolbenstange nach oben durch den Deckel des Rammcylinders geführt und an einem Stützträger d aufgehängt, welcher neben dem Rammbär durchgeführt und mit seinem Fufse auf den Pfahlkopf gestützt ist. Die Kolbenstange ist bei dieser Anordnung hohl, um zur Dampfzuleitung zu dienen, und hat an ihrem oberen Ende den Dreiwegehahn, wobei sich der weitere Vortheil ergiebt, dafs dieser Hahn mit dem Anschlufs des Dampfschlauches nicht mehr bei jedem Schlage dem Spiele des Rammbären folgt, sondern nur die allmähliche abwärts gehende Bewegung des Pfahles mitmacht.



Verbesserte Figee-Ramme.

Was die mit der Figee-Ramme beim Bau der Elbbrücke gemachten Erfahrungen anlangt, so haben dieselben die bekannten Vortheile der direct wirkenden Rammen gezeigt. Insbesondere ermöglichten sie das Rammen der 26 cm starken Pfahlwände der beiden Portalpfeiler, nachdem die Dampfkunstrammen den Dienst versagt hatten. Da die Figee-Rammen wegen des grofsen Dampfverbrauchs einen sehr grofsen Kessel haben müssen, so sind dieselben verhältnifsmäfsig schwer. Wenn daher der Kessel nicht, wie es allerdings in Holland vielfach geschieht, von dem beweglichen Rammgestell getrennt und fest aufgestellt wird, so ist es im allgemeinen unvortheilhaft, diese Rammen da zu verwenden, wo ein häufiges Versetzen derselben erforderlich ist. Dahingegen sind sie zu empfehlen, wo es sich um schwimmend auszuführende Rammungen oder am Lande um lange gerade Strecken handelt. Ebenso werden sie dort am Platze sein, wo gröfsere Rammtiefen und schwerer abgelagerter Sandboden vorkommen, um so mehr, als in diesem Falle die Gröfse des Dampfkessels auch die Anbringung von Dampfpumpen für die Erzeugung von Druckwasser zum Einspülen der Pfähle erleichtert.

Von letzterem Verfahren ist bei der Elbbrücke mit Vortheil bei der Pfahlwand des nördlichen Portalpfeilers Anwendung gemacht worden, indem die Zuführung von Druckwasser sowohl das Herausziehen von schief eingegangenen, als auch das Weiterrammen von solchen Kantpfählen ermöglichte, welche nicht mehr ziehen wollten.

Die Leistungen der neun Dampframmen sind sehr sorgfältig gebucht worden, und es dürfte nachstehende Zusammenstellung der täglichen Durchschnittsleistungen von allgemeinem Interesse sein, wobei bezüglich der Verwendung der mit römischen Zahlen bezeichneten Rammen bei den einzelnen Pfeilern auf die Darstellung des Arbeitsvorganges (S. 339/40) verwiesen wird.

Zusammenstellung der täglichen Durchschnittsleistungen der Rammen.

Ramme	Bärgewicht	Mittlere Fallhöhe	Täglicher Kohlenverbrauch	Bedienung	Spundbohlen 12 cm stark		Kantpfähle, 26 cm stark; die Rammung erfolgte: fest		schwimmend		Rundpfähle, 30 cm Durchmesser; die Rammung erfolgte: fest		schwimmend	
					Spundwand	Rammtiefe	Pfahlwand	Rammtiefe	Pfahlwand	Rammtiefe		Rammtiefe		Rammtiefe
Nr.	kg	m	hl	Mann	lfd. m	m	lfd. m	m	lfd. m	m	Stück	m	Stück	m
I, III, VI Dampfkunstrammen	750	2,5	2	3	3,80	4	1,2	7	—	—	4	7	—	—
II, IV Dampfkunstrammen	1100	2,0	2,5	3	—	—	—	—	2	3,4	3	6	4	5
V Dampfkunstramme	1000	1,5	2,5	3	3,50	4,7	—	—	—	—	3	7	—	—
IX Schrägramme	1100	2,5	2,5	3	—	—	—	—	—	—	2	11,2	—	—
VII, VIII Figee-Rammen	1200	1,6	6	4 bis 5	—	—	1,8	7	3	3,4	7	7,3	4	5,7

b) Strompfeiler.

Der auf Bl. 38 dargestellte Bauvorgang unterscheidet sich bezüglich der Rammarbeiten von dem bei ähnlichen Pfeilergründungen meist beobachteten Verfahren dadurch, dafs hier mit Erfolg die sonst üblichen festen Rammrüstungen zum Schlagen der Pfahlwände gänzlich erspart und diese Wände schwimmend gerammt worden sind. Um die richtige Stellung derselben zu sichern, wurde folgendes Verfahren eingeschlagen.

Nachdem die Absteckungsgerüste gerammt waren, und die Baustellen durch Dalben ober- und unterhalb einen Schutz gegen etwa antreibende Schiffe erhalten hatten, wurde

zunächst mittels schwimmender Rammen der aus Abb. 2 ersichtliche Theil der Grundpfähle geschlagen. Diese bis über Wasser reichenden Grundpfähle wurden sodann nach Abb. 3 in Höhe von + 7,0 und + 3,8 m — eine tiefere Lage gestatteten die derzeitigen Wasserstände nicht — durch je zwei 15 × 30 cm starke Querzangen paarweise mit einander verbunden, auf deren beiderseitigen überragenden Enden die 20 × 20 cm starken Zwingen zum Rammen der Pfahlwand verkämmt wurden. Mit Hülfe dieser doppelten Zwingenführung gelang es, die Pfahlwand mittels schwimmender Rammen, theils Dampfkunstrammen, theils Figee-Rammen, herzustellen (vgl. Abb. 3), wobei die Köpfe der Kantpfähle auf + 7,2 m zu liegen kamen, um später die Pfahlwand bei Ausführung des Mauerwerkes als Fangedamm benutzen zu können.

Während bei der alten Elbbrücke die Stärke der Pfahlwände zu 31 cm (12 Zoll rhein.) bemessen war, hat sich das bei der neuen Brücke gewählte geringere Mafs von 26 cm, für welches die Möglichkeit einer guten Rammung ohne Stauchen der Pfähle ausschlaggebend erachtet wurde, bei den vorhandenen Bodenverhältnissen gut bewährt. An den unteren Enden der Kantpfähle waren Wahnkanten zugelassen, welche aber von keiner Kante aus mehr als $1/_4$ der Breite einer Seitenfläche abschneiden durften und auf 3,5 m vom unteren Ende verlaufen mufsten. Für die Grundpfähle war eine auf halber Länge gemessene Stärke von 30 cm im Durchschnitt aller Pfähle und mindestens 29 cm bei den einzelnen Pfählen, am Zopfende mindestens 25 cm, vorgeschrieben.

Die Fortlassung der Rammrüstung hat sich nicht allein als eine erhebliche Ersparnifs an Zeit und Kosten bei der Ausführung der Rammarbeit bewährt, sondern auch die weiteren Arbeiten der Betonirung und Aufmauerung wesentlich erleichtert, da sie ermöglichte, die Materialien durch einen Laufkrahn unmittelbar aus den Schuten in die Baugrube zu befördern, und das Bedürfnifs eines weiteren Lagerraumes, als ihn die an beiden Enden des Pfeilers hergestellten Arbeitsbühnen boten, sich in keiner Weise geltend gemacht hat. Zur Herstellung des Verkehrs wurden an die oberen Rammzwingen auswärts anschliefsend leichte Laufstege angebracht.

Nach Schlufs der Pfahlwand wurde auf dieselbe eine Rüstung zum Tragen der Rammen aufgelegt, von welcher aus nunmehr, also mit festen Rammen, die übrigen Grundpfähle geschlagen wurden (Abb. 4). Den Uebernehmern war es freigestellt, die Grundpfähle kürzer anzuliefern und alsdann mit unterschlägigen Mäklern zu rammen; sie zogen es jedoch vor, da die letzteren wegen der oberen Querzangen eine freie Längsbewegung der Rammen verhindert haben würden, die Grundpfähle, wie Abb. 4 zeigt, so lang anzuliefern, dafs diese mit den gewöhnlichen Rammen und ohne Jungfern bis zur planmäfsigen Tiefe geschlagen werden konnten.

Da nach den Ergebnissen der Bohrungen beim südlichen Strompfeiler ein gröberer Sandboden als bei dem nördlichen Strompfeiler gefunden war, hatte man anfänglich die Anzahl der Grundpfähle beim ersteren auf 62 und ihre Rammtiefe auf — 6 m festgesetzt, während beim letzteren 117 Grundpfähle auf eine durchschnittliche Tiefe von — 8,31 m gerammt waren. Es zeigte sich aber bei der Ausführung, dafs im südlichen Strompfeiler das Verhalten der Grundpfähle beim Rammen dasselbe war, wie im nördlichen Strompfeiler. Infolge dessen wurde auch dort die Rammtiefe auf — 8,31 m bemessen unter Verdopplung der Anzahl der Pfähle.

Die Grundpfähle wurden 0,30 m über der Sohle unter Wasser abgeschnitten. Zu dieser Arbeit bediente man sich einer durch 5 Mann gehandhabten Pendelsäge (Abb. 5), und es wurden, nachdem die Arbeiter beim nördlichen Strompfeiler eingeübt waren, beim südlichen Strompfeiler 4 Pfähle in 6 Stunden abgeschnitten. Es erwies sich als vortheilhaft, das Abpendeln nur bei N. W. vorzunehmen. Die in den Ecken und nahe bei der Pfahlwand stehenden Pfähle konnten wegen des zu beschränkten Arbeitsraumes nicht abgependelt, sondern mufsten durch einen Taucher abgeschnitten werden, welcher sich bei dieser Arbeit einer Handsäge bediente und nach einiger Einübung 6 Pfähle in 6 Stunden abschnitt.

c) Landpfeiler.

Nach Abgrabung der Pfeilerbaustellen bis zu der für die Ausführung der Rammarbeiten vorgesehenen Höhe von + 4,80 m — nur beim südlichen Widerlagspfeiler erfolgte mit Rücksicht auf den dortigen Winterdeich die Abgrabung bis + 5,80 m — wurden die Spund-, bezw. Pfahlwände in gewöhnlicher Weise eingerammt und darauf die Baugruben zwischen den gegenseitig abgesteiften Umschliefsungswänden im Trockenen ausgehoben. Der untere Theil des Aushubs erfolgte unter Wasserhaltung und mufste daher, um schädliche Quellenbildungen im Sandboden zu vermeiden, unter thunlichster Benutzung niedriger Aufsenwasserstände mit möglichster Beschleunigung ausgeführt werden. Alsdann wurden die Grundpfähle ohne Senkung des Wasserstandes, welcher sich mittlerweile in den Baugruben wieder eingestellt hatte, von Rollwagen aus, welche die Baugrube überspannten, geschlagen. Das Abschneiden der Grundpfähle über der Sohle konnte wieder im Trockenen unter Wasserhaltung bewirkt werden, da diese Arbeit für einen einzelnen Pfeiler nicht mehr als einen Tag in Anspruch nahm.

7. Betonirung.

a) Die Betonirungsmaterialien.

Für die Entscheidung der Frage, ob Cement- oder Trafsbeton zu nehmen sei, war der Kostenpunkt nicht mafsgebend, da die Preise beider Betonarten sich bei Annahme eines Cementmischungsverhältnisses von 1 : 3 in Hamburg ohngefähr gleich stellten. Es wurde vielmehr deshalb Trafsbeton gewählt, weil das langsamere Abbinden desselben die Zubereitung mittels Maschinen an einem einzigen Orte für sämtliche Pfeilerbaugruben, und damit eine leichte und sichere Ueberwachung der Zubereitung gestattete.

Der Trafsbeton wurde aus 1 Raumtheil Trafs, 1 Rthl. gelöschten Wasserkalk, 1 Rthl. Sand und 4 Rthln. Steinschotter gemischt. Der thatsächliche Verbrauch für 1 cbm fertigen Betons hat betragen:

1,95 hl Trafs,
1,05 „ ungelöschten Wasserkalk,
0,21 cbm Sand,
0,90 „ Steinschotter.

Da gemäfs dem Arbeitsplane in der Zeit vom 1. September bis etwa Mitte November die Betonirung der Pfeiler-

baugruben im Umfange von 4500 cbm fertig gestellt werden sollte, so waren im Durchschnitt an jedem Werktage etwa 70 cbm Beton zu bereiten. Hiernach wurden die Lieferfristen für die Materialien sowie die Gröfsen des Trafs- und Kalkschuppens und der Betonmühle bestimmt.

Für den Trafs war bei Ausschreibung der Lieferung die Entscheidung vorbehalten, ob derselbe im gemahlenen Zustande angeliefert oder vom Lieferanten auf der Baustelle aus den Tuffsteinen gemahlen werden sollte, und die Abgabe von Preisforderungen für jede dieser beiden Lieferungsweisen verlangt. Es handelte sich um eine Menge von 10000 hl, was der Grenze entspricht, bei welcher in den Niederlanden das Mahlen auf der Baustelle vorgeschrieben zu werden pflegt. Bei Eingang der Preisforderungen stellte es sich heraus, dafs die Mehrkosten für das Mahlen auf der Baustelle so gering waren, dafs sie sich annähernd durch die Ersparnifs an der Gröfse des von der Bauverwaltung vorzuhaltenden Trafslagerschuppens ausglichen. Denn da der Vorrath an Tuffsteinen im Freien lagern durfte, konnte der Trafsschuppen, welcher andernfalls wegen der Unzuverlässigkeit der Segelschiffbeförderung einen grofsen Vorrathsraum erfordert hätte, nunmehr auf einen Fassungsraum von 250 cbm beschränkt werden, sodafs bei vollem Schuppen und etwaigen Betriebsstörungen in der Mühle oder Ausbleiben der Tuffsteine der Bedarf für 18 Tage gedeckt war. Die von dem Lieferanten, G. Herfeldt in Andernach, auf der Baustelle aufgestellte versetzbare Mühle hatte vertragsmäfsig in Lieferungsabschnitten von je $^2/_3$ Monat eine Menge von 2500 hl zu liefern, um bei regelmäfsigem Betriebe Schritt mit dem täglichen Verbrauche von 140 hl zu halten, und hat thatsächlich bei angestrengtem Betriebe eine Zeitlang täglich 180 hl geliefert. Das Messen von Trafs ist bekanntlich unsicher in den Ergebnissen, da er in verschiedenem Grade locker oder dicht geschüttet sein kann, weshalb die Art des Einfüllens, die Gröfse, und sogar die Form des Mefsgefäfses von Einflufs ist. Die aus diesem Grunde in Aussicht genommene Verwiegung durch selbstthätige Wagen mufste leider aufgegeben werden, da die Verfertiger ohne vorherige längere Versuche keine Gewährleistung bei Verwendung ihrer Wagen für Trafs übernehmen wollten; und es erfolgte die Abnahme durch Messen nach rheinischem Gebrauch in runden 50-Liter-Gefäfsen (Scheffeln) ohne Rütteln beim Einfüllen. Das Becherwerk der Mühle förderte den Trafs in einen hochliegenden Sammelraum des Lagerschuppens, wo er von Zeit zu Zeit gemessen und durch Trichter in den darunter befindlichen Lagerraum abgestürzt wurde. Bei einem an der Mühle eingetretenen Bruche, sowie beim Ausbleiben von Tuffsteinen infolge widriger Winde half der Lieferant durch Zusendung von gemahlenem Trafs aus, welcher mit der Eisenbahn befördert wurde und nach Probeverwiegungen zu 1 hl für 92 kg abgenommen wurde.

Der Aufbewahrungsraum für den gebrannten Wasserkalk, welcher aus Elze bezogen wurde, brauchte höchstens den Wochenbedarf zu fassen, also — bei Voraussetzung eines durchschnittlichen Tagesverbrauchs von 7 cbm — eine Gröfse von etwa 50 cbm zu haben, da der Kalk mit der Eisenbahn ankam und innerhalb drei bis vier Tage nach geschehener Aufforderung an der Baustelle eintreffen mufste. Thatsächlich wurde der Grundrifs des Lagerschuppens, welcher gleichzeitig zur Unterbringung des in Säcken bezogenen Cements für das Mauerwerk diente, auf 48 qm bemessen. Die Abnahme des Kalks erfolgte nach dem bahnamtlich ermittelten Gewichte, indem nach angestellten Prüfungen ein Gewicht von 91 kg für 1 hl gerechnet wurde.

Der gebrannte Kalk wurde nach französischer Art gelöscht, indem er in Weidenkörben *m* (Bl. 40, Abb. 2) mittels eines über eine Rolle laufenden Zugseils auf die 3 m über dem Fufsboden des Lagerraumes erhöht liegende Löschbühne geschafft und dort mittels eiserner Handhaken in Wasserkübel *k* so lange eingetaucht wurde, bis das Aufhören der aufsteigenden Luftblasen anzeigte, dafs der Kalk mit Wasser gerade gesättigt war. Alsdann wurden die Körbe aus den Kübeln gezogen und umgestülpt, worauf der Kalk in kurzer Zeit zu Pulver zerfiel. Um die bei dem Elzer Kalk besonders stark auftretenden Pulverklümpchen zu zerkleinern und die steinigen Löschrückstände zu entfernen, wurde der Kalk von der Löschbühne durch drei Trichter *o* zu ebensovielen darunter liegenden, im Querschnitte sechseckigen Trommelsieben gefördert, welche mittels Handkurbeln *h* von je einem Arbeiter gedreht wurden. Die Siebweite betrug 60 Maschen auf das Quadratcentimenter. Um die Arbeiter vor dem beim Sieben sich entwickelnden, höchst lästigen und auch schädlichen Staub thunlichst zu schützen, waren die Siebe durch dichte gespundete Bretterwände von allen Seiten fest eingeschlossen. Das Kalkpulver gelangte von den Sieben in darunter befindliche hölzerne Behälter mit abfallenden Böden, sodafs beim Oeffnen von Luken das Kalkpulver von selbst nach den Karrgängen ausflofs, in welchen die Schiebkarren zur Beförderung nach der Betonmühle beladen wurden. Die beim Sieben zurückbleibenden steinigen Rückstände gelangten infolge der Längsneigung der Trommeln (Schnitt *ab*) nach deren unteren Enden, wo sie leicht von Zeit zu Zeit entfernt werden konnten.

Anfänglich war das Ablöschen des Kalks nach der in Deutschland verbreiteten Weise durch Besprengen mittels Wasserleitungsbrausen auf Löschbühnen bewirkt worden, welche zwischen dem Lagerraum und dem Fördergange hergerichtet waren, während das Sieben auf wagerecht bewegten und dabei gerüttelten Tafelsieben bewirkt wurde. Da aber einmal das Löschen wegen des in das Belieben des Arbeiters gestellten Mafses des Wasserzusatzes nicht gleichmäfsig genug erfolgte, ferner auch die letztere Art des Siebens sowohl die Arbeiter zu sehr belästigte, als auch zu geringe Erfolge ergab, so wurde bald der Kalkschuppen umgebaut und der erstbeschriebene Betrieb eingeführt. Daraus erklärt sich die etwas verwickelte Gestalt des Schuppens. Im übrigen kann das angewendete Lösch- und Siebverfahren nur empfohlen werden.

Es mag hier anschliefsend noch Erwähnung finden, dafs der gebrannte Elzer Kalk ziemlich genau den doppelten Raumgehalt brauchbaren Kalkpulvers, im Hektolitermafse gemessen, ergab, während das Ausmafs nach den für die Betonirung verwendeten Mafskästen von 18 l Inhalt eine $2\,^1/_2$ fache Ausgiebigkeit aufwies. Die steinigen Rückstände betrugen kaum $4\,^1/_2$ Procent der angelieferten Menge. Ferner wurde durch Proben festgestellt, dafs der zu Staub gelöschte Wasserkalk, auf Haufen geschüttet und vor Luftzug und Nässe ge-

schützt, $1\frac{1}{2}$ Jahre ohne erhebliche Nachtheile für seine Bindekraft aufbewahrt werden konnte.

Der verwendete Sand war ein besonders reiner und grobkörniger Elbsand.

Die Schottersteine, welche von der Ober-Elbe bezogen wurden, bestanden aus Grauwacke und Granit. Für die Stückgröfse war vorgeschrieben, dafs sie nach keiner Richtung eine gröfsere Abmessung als 5 cm haben durften.

b) Herstellung des Betons.

Der Beton wurde in einer einzigen hölzernen Trommel von 1,02 m Durchmesser und 5,64 m Länge derart gemischt, dafs die einzelnen Materialien in dem planmäfsigen Mischungsverhältnisse gleichzeitig unter Zuführung des erforderlichen Wassers der Trommel zugeführt wurden. Die sonst wohl gebräuchliche Anordnung von zwei Mischtrommeln, deren obere zur Herstellung des Mörtels dient, während der Steinschlag erst in der unteren Trommel zugeführt wird, scheint an dem Mangel zu leiden, dafs ein gleichmäfsiges Verhältnifs zwischen den Mengen von Mörtel und Steinschlag schwer bei den unvermeidlichen kleinen Unregelmäfsigkeiten des Betriebes zu erzielen sein dürfte. Die Mischung in einer einzigen Trommel dagegen hatte sich schon beim Bau der alten Hamburger Elbbrücke bewährt.

Die auf eingerammte Pfähle gestellte Betonmühle, deren Einrichtung Abb. 3 auf Blatt 40 zeigt, hatte eine solche Höhenlage erhalten, dafs die 1:10 geneigte Betontrommel bei den gewöhnlichen Hochwasserständen noch in ungestörtem Betriebe bleiben konnte. Im Innern des oberen Schuppenraumes befand sich ein ringsum laufender, etwa 2 m breiter Karrsteg, welcher einen 5,8 × 5,3 m grofsen und um 0,85 m vertieften Raum einfafste. Dieser Raum war durch lothrechte Bretterwände in drei Abtheilungen zerlegt, welche zur Aufnahme eines gewissen Vorraths an Kalk, Trafs und Sand dienten. In den Böden dieser Abtheilungen befand sich je eine oben offene, von drei lothrechten Seitenwänden und einem unter 45° geneigten Boden begrenzte Vertiefung *o*, welche einen genau bemessenen Inhalt von 18 l hatte. Diese Vertiefungen waren an ihren Vorderseiten durch Schütztafeln *s* gegen eine gemeinsame, zur Betontrommel führende Schüttrinne abgeschlossen, deren unter 45° geneigter Boden nach oben trichterförmig zur Aufnahme des Steinschlags verbreitert war.

Zum Betriebe der Trommel diente eine sechspferdige stehende Dampfmaschine, welche in dem 10 m entfernt liegenden Maschinenschuppen aufgestellt war und mittels Drahtseils und Vorgelege die auf 4 Leitrollen ruhende Betontrommel in drehende Bewegung setzte. Die Trommel machte fünf bis sechs Umdrehungen in der Minute, während in der gleichen Zeit die zugehörige Dampfmaschine 150 Touren machte.

Die Zubereitung des Betons, welche ebenso wie die Versenkung desselben im Selbstbetriebe der Bauverwaltung erfolgte, geschah folgendermafsen. Nachdem die drei erwähnten vertieften Vorrathsräume in den sich ergebenden Betriebspausen mit Kalk, Trafs und Sand beschickt waren, wurde in jedem derselben der kleine Behälter *o* durch einen Arbeiter vermittelst einer Krücke gefüllt und bordvoll abgestrichen. Die Schottersteine wurden in Schiebkarren mit rostartigen, aus Rundeisenstäben hergestellten Böden angefahren und unmittelbar vor dem Eingange zur Betonmühle mittels einer dort angebrachten, an die Wasserleitung angeschlossenen Brause kräftig abgespült, bis das abfliefsende Wasser rein war. Die Karren hatten einen Sollinhalt von 72 l, sodafs der Inhalt einer Karre zusammen mit dem Inhalt der drei Behälter *o* das richtige Mischungsverhältnifs 1:1:1:4 ergab. In dem Augenblick nun, wo eine Schotterkarre durch seitliches Umkippen in den Schütttrichter entleert wurde, zogen die drei vorerwähnten Arbeiter die Schütztafeln *s*, sodafs gleichzeitig der Trommel die Materialien im richtigen Mischungsverhältnisse zugeführt wurden. Die Wasserzuführung wurde von dem Vorarbeiter geregelt, welcher über dem Schütttrichter seinen Standort an einem Schreibpulte hatte, um die Zahl der Schüttungen zu vermerken, und einen unter dem Pulte angebrachten Wasserhahn handhabte. Unten bei der Trommel, aus welcher der Beton über eine Klapprinne unmittelbar in die Schuten fiel, war ein zweiter Vorarbeiter aufgestellt, welcher die Beschaffenheit des ausfliefsenden Betons und die Regelung des Wasserzusatzes mit Rücksicht auf die kleinen Unregelmäfsigkeiten des Betriebes zu überwachen hatte. Zu dem Ende führte von letzterem Standpunkte zu dem Vorarbeiter im Gebäude ein Glockenzug, und durch bestimmte Glockenzeichen: z. B. ein Ton „zu wenig Wasser!", zwei Töne „zu viel Wasser!" usw. wurde der letztere Vorarbeiter in den Stand gesetzt, die Wasserzuführung jederzeit richtig zu bemessen.

Der geschilderte Betrieb war ein aufserordentlich einfacher und gewährleistete nicht nur eine sich stets gleichbleibende Güte und Zusammensetzung des Betons, sondern auch eine sehr genaue Ueberwachung des Materialverbrauchs und der Arbeitsleistung. Um letztere thunlichst zu steigern, erhielten die Arbeiter aufser ihrem Tagelohn noch Prämien nach Mafsgabe der bewirkten Trichterfüllungen. Erfahrungsgemäfs waren zu 1 cbm fertigen Betons 11,6 Trichterfüllungen erforderlich.

Mit der Herstellung des Betons wurde morgens um 4 Uhr begonnen, sodafs bei Beginn der eigentlichen Arbeitszeit genügend Beton zum Versenken vorhanden war. Dementsprechend wurde auch der Betrieb der Mühle vor Schlufs der Arbeitszeit eingestellt, und zwar so, dafs der angefertigte Beton am selbigen Tage noch versenkt werden konnte. Von der Zweckmäfsigkeit der Anlage mag der Umstand zeugen, dafs ihre tägliche Leistung bis zu 102 cbm Beton betrug.

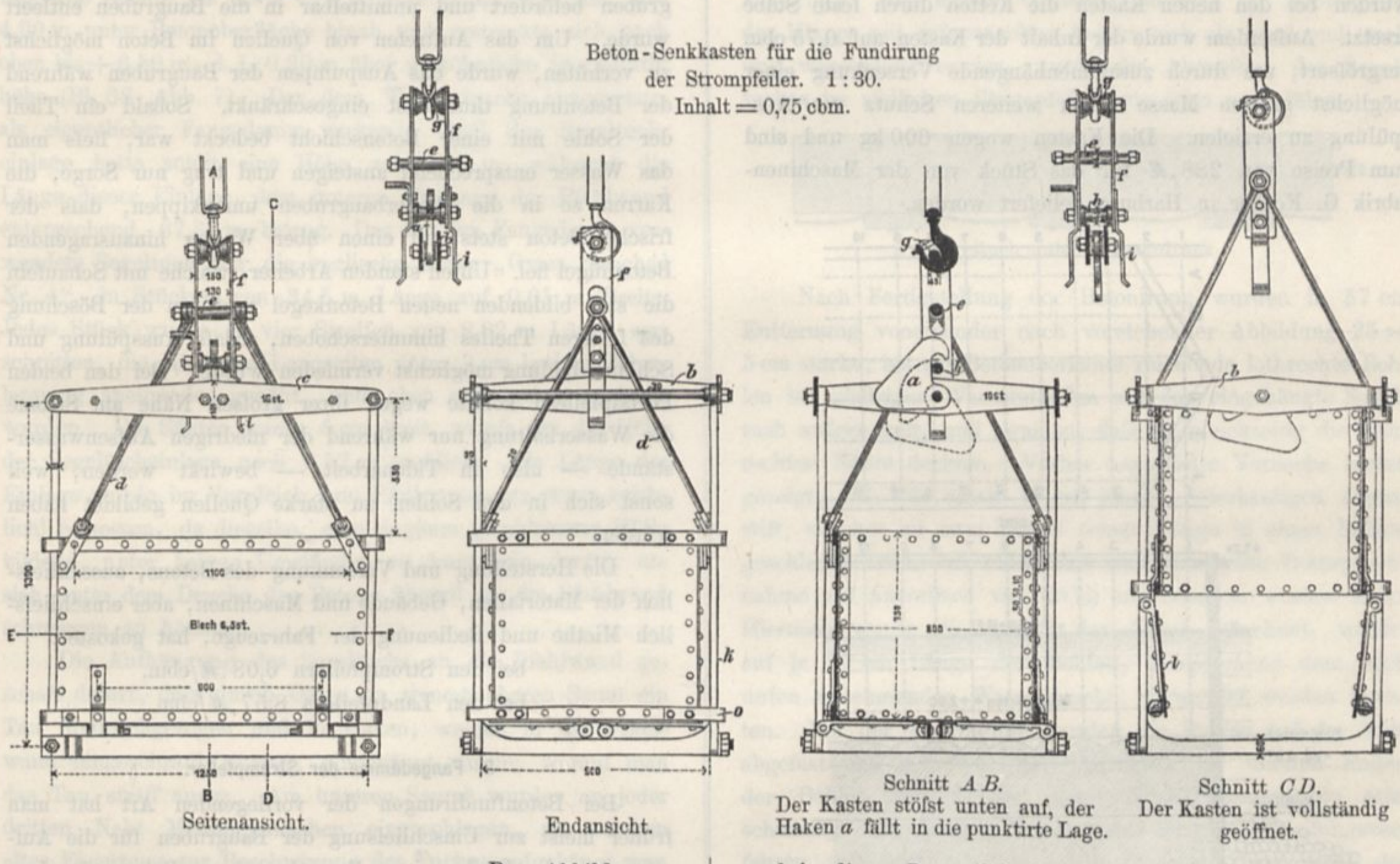
c) Versenkung des Betons.

Bei den Strompfeilern wurde behufs Versenkung des Betons und nachheriger Ausführung des Mauerwerks auf jedem Pfeiler ein Dampflaufkrahn in der aus Bl. 38, Abb. 6 ersichtlichen Weise aufgestellt. Zu dem Ende waren auf den seitlichen, durch vier obere Querhölzer gegenseitig abgesteiften Pfahlwänden Eisenbahnschienen befestigt, welche auf Verlängerungsgerüsten über die beiderseitigen Pfeilervorköpfe hinausgeführt waren. Auf den Schienen ruhte mittels vier doppelflanschiger Laufrollen das Bockgerüst des Laufkrahns. Dasselbe trug oben eine vierpferdige Dampfwinde nebst Siedekessel. Auf den beiden oberen, an einer Seite auslegerartig verlängerten Querholmen befand sich ein eiserner, quer über den Pfeiler zu bewegender Laufkatzen-

wagen mit der Lastkette, welche belastet mit einer Geschwindigkeit von 9 m in der Minute gehoben werden konnte. Die Längsbewegung des ganzen Krahngerüstes auf den Schienen wurde ebenfalls von der Dampfmaschine bewirkt, indem längs jeder Schiene eine Laufkette angebracht war, deren beide Enden an den Holmen der Verlängerungsgerüste befestigt waren, und welche über Rollen an den lothrechten Krahnpfosten hinauf nach dem von der Dampfmaschine getriebenen Kettenrade geführt war. Zu sämtlichen mit der Maschine zu bewirkenden Bewegungen, der Längsbewegung des ganzen Krahnes, der Querbewegung der Laufkatze und der Hebung oder Senkung der Lasten, bedurfte es nur der Handhabung der Steuerung, der Ein- und Ausrückvorrichtungen und des Bremshebels durch den oben stehenden, und daher die ganze Baustelle vortrefflich übersehenden Maschinisten, dem zur Hülfeleistung noch ein Heizer beigegeben war. Die beiden Dampfkrähne, welche von der Firma Menck u. Hambrock in Ottensen geliefert waren und sich trefflich bewährt haben, dienten weiter für die Aufmauerung der Strompfeiler sowie der Portalpfeiler und haben ebenso wie die gesamten Betonirungseinrichtungen nach Fertigstellung der Elbbrücke Wiederverwendung beim Bau der anschliefsenden Billhorner Brücke gefunden.

Zur Versenkung des Betons unter Wasser wurden die nachstehend dargestellten eisernen Betonsenkkasten, von denen fünf Stück angeschafft wurden, benutzt.

Beton-Senkkasten für die Fundirung der Strompfeiler. 1 : 30. Inhalt = 0,75 cbm.

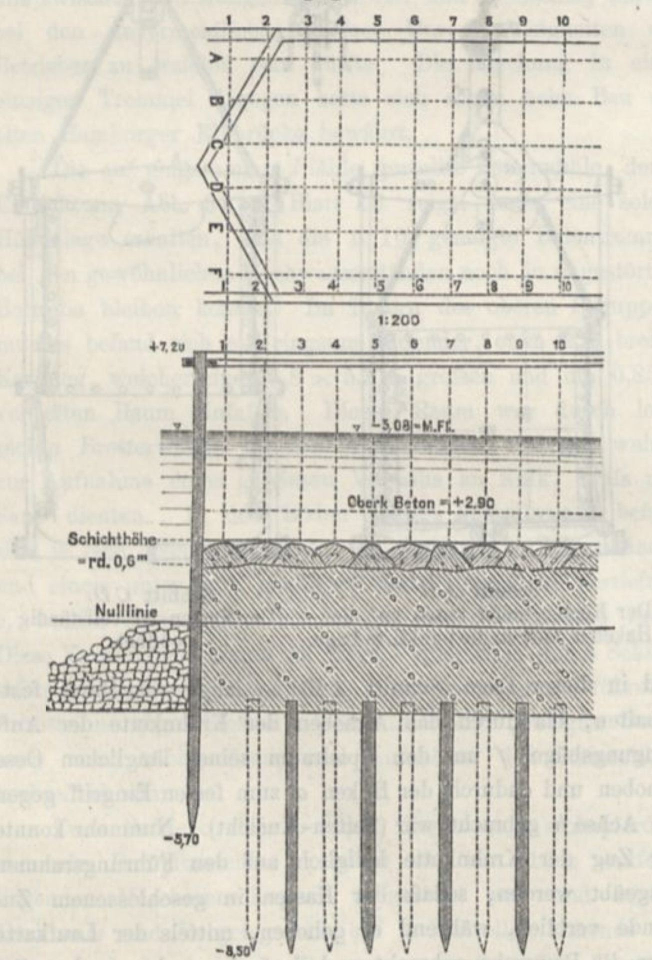


Seitenansicht. Endansicht. Schnitt AB. Der Kasten stöfst unten auf, der Haken a fällt in die punktirte Lage. Schnitt CD. Der Kasten ist vollständig geöffnet.

Untere Ansicht. Schnitt EF.

Den Abbildungen gemäfs bestanden die Beton-Senkkasten aus zwei Theilen: dem eigentlichen Kasten mit nach unten aufschlagenden Bodenklappen l (Schnitt CD) und einem eisernen Führungsrahmen, an dessen lothrechten, aus Quadrateisen gebildeten Pfosten k der Kasten mittels angeschraubter Oesen o gleiten konnte. Je nachdem nun der Zug der Krahnkette, an welche die ganze Vorrichtung mittels der obersten Achse g angehängt wurde, allein auf den Kasten wirkte, oder vermittelst Einhängung des Hakens a auf den Führungsrahmen übertragen wurde, mufste der Kasten beim Anziehen der Kette sich öffnen oder geschlossen bleiben. Nachdem daher ein Kasten in der Schute beladen war, wurde der Haken a von einem Arbeiter über die Achse h gedreht und in dieser Lage (Schnitt AB) so lange von Hand festgehalten, bis durch das Anheben der Krahnkette der Aufhängungsbügel f um den Spielraum seiner länglichen Oese gehoben und dadurch der Haken a zum festen Eingriff gegen die Achse h gebracht war (Seiten-Ansicht). Nunmehr konnte der Zug der Krahnkette lediglich auf den Führungsrahmen ausgeübt werden, sodafs der Kasten in geschlossenem Zustande verblieb, während er gehoben, mittels der Laufkatze über die Baugrube gebracht und dort abgesenkt wurde. Sobald aber der Führungsrahmen auf den Boden der Baugrube aufstiefs, und der Zug in der Krahnkette nachliefs, senkte sich der obere Bügel f vermöge seines Eigengewichtes wieder um das Mafs der Oesenlänge, und der Haken a schnappte selbstthätig aus (Schn. AB). Sobald nun die Krahnkette wieder angezogen wurde, wirkte dieselbe vermittelst der Achse e lediglich auf den Betonkasten; derselbe glitt daher längs der Führungseisen k bis zum Anstofsen an die oberen Flacheisen b des Führungsrahmens empor, indem gleichzeitig die Bodenklappen allmählich nach unten aufschlugen, sodafs der Beton in ruhigster Weise zur Ablagerung gelangte (Schnitt CD).

Diese Betonkasten, welche sich aufserordentlich gut bewährt haben, zeichnen sich vor vielen ähnlichen Vorrichtungen dadurch aus, dafs die Mannschaft den Kasten nicht eher öffnen kann, als bis er unten aufgestofsen ist, sodafs ein freies Fallen des Betons durch das Wasser ausgeschlossen wird. Die Kasten sind denjenigen nachgebildet, welche beim Bau der Brücke über die Grofse Weser in Bremen (vgl. Zeitschr. d. Arch.- und Ing.-Ver. in Hannover 1869) und bei der alten Hamburger Elbbrücke verwandt wurden. Da jedoch bei letzterem Bau die bei jenen Kasten vorhandene Kettenaufhängung Schwierigkeiten verursachte, indem die Ketten sich oft in der Baugrube mit dem Ausfallhaken verwickelten und dadurch die Entleerung des Kastens verhinderten, so wurden bei den neuen Kasten die Ketten durch feste Stäbe ersetzt. Aufserdem wurde der Inhalt der Kasten auf 0,75 cbm vergröfsert, um durch zusammenhängende Versenkung einer möglichst grofsen Masse einen weiteren Schutz vor Ausspülung zu erzielen. Die Kasten wogen 600 kg und sind zum Preise von 288 ℳ für das Stück von der Maschinenfabrik G. Koeber in Harburg geliefert worden.



Vorrichtung zur möglichst gleichmäfsigen Versenkung des Betons.

Die Schlammbildung während der Betonirung war aufserordentlich gering. Um die Versenkung des Betons möglichst gleichmäfsig unter Erzielung eines guten Verbandes zu bewirken, war nach vorstehender Abbildung durch Oelfarbenstriche an den inneren oberen Gurtungen der Pfahlwände sowie an den oberen Querholmen des Krahngerüstes ein Netz festgelegt. Von diesem Netze waren Umdruckpläne angefertigt, welche von einem Vorarbeiter auf dem Pfeiler zur Bezeichnung der Stellen benutzt wurden, an denen ein Kasten in der jedesmaligen Schicht versenkt war. Die Versenkung wurde im übrigen so bewirkt, dafs zuerst die Querreihen mit geraden Zahlen, dann die mit ungeraden Zahlen betonirt wurden, wodurch in der in der Abbildung angedeuteten Weise ein guter Verband erzielt wurde. Dem Maschinisten oben auf dem Laufkrahn wurde die Fahrordnung durch Zurufe und Handzeichen seitens des Vorarbeiters kund gegeben. Während im Durchschnitt täglich etwa 65 cbm Beton versenkt wurden, gelang es an einem Tage im October beim südlichen Strompfeiler 97 cbm Beton zu versenken.

Bei den Landpfeilern erfolgte die Betonirung der Baugruben übereinstimmend in der Weise, dafs der Beton in Schuten an die zunächstliegenden Landungsstege gefahren, von dort mittels Schiebkarren an die einzelnen Pfeilerbaugruben befördert und unmittelbar in die Baugruben entleert wurde. Um das Auftreten von Quellen im Beton möglichst zu verhüten, wurde das Auspumpen der Baugruben während der Betonirung thunlichst eingeschränkt. Sobald ein Theil der Sohle mit einer Betonschicht bedeckt war, liefs man das Wasser entsprechend ansteigen und trug nur Sorge, die Karren so in die Pfeilerbaugruben umzukippen, dafs der frische Beton stets auf einen über Wasser hinausragenden Betonhügel fiel. Unten standen Arbeiter, welche mit Schaufeln die sich bildenden neuen Betonkegel sanft an der Böschung des fertigen Theiles hinunterschoben, sodafs Ausspülung und Schlammbildung möglichst vermieden wurde. Bei den beiden Portalpfeilern konnte wegen ihrer grofsen Nähe am Strome die Wasserhaltung nur während der niedrigen Aufsenwasserstände — also in Tidenarbeit — bewirkt werden, weil sonst sich in den Sohlen zu starke Quellen gebildet haben würden.

Die Herstellung und Versenkung des Betons, ausschliefslich der Materialien, Gebäude und Maschinen, aber einschliefslich Miethe und Bedienung der Fahrzeuge, hat gekostet:

bei den Strompfeilern 6,08 ℳ/cbm,
bei den Landpfeilern 8,57 ℳ/cbm.

8. Fangedämme der Strompfeiler.

Bei Betonfundirungen der vorliegenden Art hat man früher meist zur Umschliefsung der Baugruben für die Aufmauerung der Pfeiler einen Fangedamm aus Beton mit einer zweiten inneren Bohlwand auf das fertige Betonbett aufgesetzt und dadurch nicht allein für die Herstellung, sondern auch für die nachherige Beseitigung dieser Fangedämme erhebliche Kosten aufgewandt. Beim Bau der alten Hamburger Elbbrücke (1868) wurden daher die Fangedämme statt dessen mit Thon gefüllt. Ein weiterer Fortschritt ist bei der neuen Elbbrücke durch Anwendung eines Fangedammes aus getheertem Segeltuch in Anlehnung an eine dem Vernehmen nach bei einer holländischen Brücke stattgehabte ähnliche Bauausführung mit Erfolg gemacht worden.

Vor Beschlufsfassung über die Ausführung wurden vergleichende Proben mit verschiedenen Anstrichmassen in der Art vorgenommen, dafs Beutel aus dem entsprechend angestrichenen Segeltuch an das untere Ende eines lothrecht aufgehängten 4 m langen Gasrohres angebracht und die bei Anfüllung mit Wasser durchleckenden Wassermengen gemessen wurden. Als die beste Anstrichmasse, welche auch zur Verwendung kam, wurde eine Mischung von zehn Gewichtstheilen Steinkohlentheers auf einen Gewichtstheil Terpen-

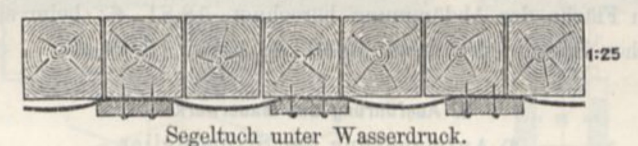
tin ermittelt. Dieselbe ergab bei einem dreimaligen beiderseitigen Anstrich eine völlige Wasserdichtigkeit, was bei einer geringeren Zahl von Anstrichen nicht so vollkommen der Fall war. Bei der Neuheit der Sache wurde es daher erforderlich erachtet, den Anstrich im oberen nutzbaren Theile und weiter bis 0,90 m unter Betonoberfläche dreimal, und darunter auf 1,50 m zweimal beiderseitig zu streichen. Der weiter hinabreichende Theil des Segeltuchs blieb ungetheert, da man annahm, dafs der Beton fester an dem ungetheerten Tuche haften werde.

Des wasserdichten Anschlusses an das Betonbett wegen mufste das Segeltuch auf der Innenseite der Pfahlwand angebracht, also vor der Betonirung eingehängt werden. Dasselbe reichte bis etwa 0,30 m über Baugrubensohle, also 4,90 m unter Betonoberfläche hinab und erstreckte sich nach oben bis + 6,50 m, d. i. 0,20 m über gewöhnliche Sturmfluthhöhe (Bl. 38, Abb. 7). Der dem Wasserdrucke ausgesetzte, als eigentlicher Fangedamm wirkende Theil der Segeltucheinlage hatte somit eine Höhe von 3,60 m, während die Länge dieser Einlage, dem inneren Umfange der Pfahlwand entsprechend, 67,32 m betrug. Das für den Fangedamm verwendete Segeltuch war die englische Marke „Grass bleached Nr. 4“, in Stücken von 34,5 m Länge auf 0,61 m Breite. Jedes Stück wurde in vier Streifen von 8,62 m Länge zerschnitten, die mit ihren Langseiten unter 3 cm breiter Ueberlappung aneinander genäht, und oben und unten gesäumt wurden. Die Säume waren 5 cm breit, sodafs für die Höhe der Segeltucheinlage noch 8,52 m verblieb. Die Länge der Einlage wurde im Vergleich zum Pfeilerumfange etwas reichlich bemessen, da dieselbe, eine ringsum geschlossene Hülle bildend, unter keinen Umständen zu kurz sein durfte, um sich unter dem Drucke des Betons überall an die Pfahlwand schmiegen zu können.

Die Aufhängung des Segeltuchs an die Pfahlwand geschah derart, dafs durch Oesen an seinem oberen Saum ein Tau hindurchgezogen und in Haken, welche in die Pfahlwand eingeschraubt waren, eingehängt wurde, worauf man das Tau straff anzog. Am unteren Saume wurden an jeder dritten Naht Messingkauschen eingeschlagen, an welchen altes Eisenzeug zur Beschwerung des Tuches aufgehängt war. Das Einhängen des letzteren erfolgte unter Zuhülfenahme des Dampflaufkrahns.

Um den Wasserspiegel innerhalb der Pfahlwand während der Betonirung auf gleicher Höhe mit den wechselnden äufseren Wasserständen zu halten und dadurch einen dem frischen Beton schädlichen Ueberdruck zu vermeiden, wurde ein mit einer Segeltuchklappe verschliefsbarer Ausschnitt im Segeltuch und in der Pfahlwand angeordnet, welcher ohngefähr bis zum mittleren N.W. hinabreichte und erst später geschlossen wurde. Die Klappe war mit dem unteren Theile des Segeltuches aus einem Stück hergestellt und blieb während der Betonirung in Niedrigwasserhöhe aufgerollt; an den beiden Seiten überdeckte sie den Rand der Lücke um die Breite einer ganzen Bahn und wurde in diesen breiten Ueberlappungen beim Schliefsen frisch getheert und mit aufgelegten Bohlen gegen die Pfahlwand genagelt.

Bei der grofsen Stärke der Betonkörper — 5,2 m im nördlichen, und 5,5 m im südlichen Strompfeiler — konnte unbedenklich bereits 10 Tage nach Schlufs der Betonirung die Baugrube leergepumpt werden. Zuvor mufste jedoch das Segeltuch gegen den äufseren Wasserdruck abgesteift werden. Beim ersten, dem nördlichen, Strompfeiler geschah dies in der Weise, dafs man vor den lothrechten Nähten Aufrichter stellte und vor denselben wagerechte Gurthölzer anbrachte, welche man quer über die Baugrube gegeneinander absteifte, worauf die obenerwähnte Segeltuchklappe geschlossen wurde. Diese Art der Absteifung vermied die Verletzung des Segeltuches durch Nägel und gestattete die Wiederverwendung des oberen Theiles des Segeltuches, welcher zur Abdeckung und Seitenverkleidung von Bauschuppen benutzt wurde. Andererseits erschwerte die Auswechslung der Querversteifungen (vgl. Bl. 38, Abb. 7) den Fortgang der Aufmauerung. Aus diesem Grunde, und weil die Befestigung der Klappe mit aufgenagelten Bohlen sich als genügend stark und wasserdicht erwies, wurde die Absteifung des Segeltuches im südlichen Strompfeiler wie folgt ausgeführt.



Segeltuch unter Wasserdruck.

Nach Fertigstellung der Betonirung wurden in 57 cm Entfernung voneinander nach vorstehender Abbildung 25 × 5 cm starke, bis zur Betonoberkante reichende lothrechte Bohlen bei niedrigen Wasserständen auf das eingehängte Segeltuch aufgenagelt, und zwar so, dafs sie gleichzeitig die lothrechten Nähte deckten. Vorher angestellte Versuche hatten gezeigt, dafs für einen 15 cm langen, vierkantigen Drahtstift, welcher zu zwei Drittel seiner Länge in einen Balken geschlagen wird, bei zehnfacher Sicherheit eine Inanspruchnahme auf Ausreifsen von 40 kg angenommen werden kann. Hiernach wurde die Anzahl der Nägel berechnet, welche auf je 50 cm Länge der Bohlen, entsprechend dem nach unten zunehmenden Wasserdrucke, verwendet werden mufsten. Vor der Anbringung wurden die Bohlen auf der Seite abgefast und getheert. Das Annageln der unteren Enden der Bohlen war infolge hoher Niedrigwasserstände sehr schwierig. Im übrigen hat sich das letztere Absteifungsverfahren sehr gut bewährt. Die Baugrube war trotz der Nagellöcher überraschend dicht, sodafs selbst bei den gerade im Anfange der Maurerarbeiten auftretenden hohen Aufsenwasserständen (bis + 6,40 m), bei denen also das Segeltuch einem Wasserdrucke von 3,5 m ausgesetzt war, die aufgestellte Kreiselpumpe morgens früh nur etwa eine Stunde arbeiten mufste, um das über Nacht eingedrungene Leckwasser zu entfernen. Verletzungen des Segeltuches waren durch getheerte aufgenagelte Bohlenstücke leicht auszubessern, was bei dem Fangedamm im nördlichen Strompfeiler nicht in dieser einfachen Weise zu bewirken war. Auch bietet die Wiederverwendung des vom Betonschlamm und Mörtel überzogenen Segeltuches zu wenig Vortheile, um sich deshalb auf die unbequemere Baugrube, wie sie die Absteifung vermittelst Aufrichter und Quersteifen mit sich bringt, anstatt der weitaus bequemeren und leichter vor Undichtigkeiten zu schützenden Baugrube, wie sie die Nagelung bietet, einzulassen.

Bei der Neuheit dieser sehr zu empfehlenden Fangedämme darf noch erwähnt werden, dafs später — beim

Bau der Billhorner Brücke — in folgender Weise der Segeltuchfangedamm hergestellt wurde. Anstatt, wie vorbeschrieben, das Segeltuch in einem einzigen, vorher zusammengenähten Stücke anzubringen, was immerhin nicht bequem war, wurden vor der Betonirung einzelne, in etwa 2 m Breite hergestellte Streifen Segeltuch mit etwa 0,30 m breiter Ueberdeckung der senkrechten Fugen angenagelt. Die wagerechten unteren Säume der einzelnen Streifen waren um 2 cm starke Rundeisenstangen genäht, welche die Bahnen gleichmäfsig straff zogen. Die lothrecht eingesetzten Bohlen waren so lang, dafs ihr unteres Ende etwa 1 m hoch mit einbetonirt wurde. Infolge dessen brauchte die Nagelung nicht bis unmittelbar zur Betonoberfläche hinuntergeführt zu werden, was die Ausführung sehr erleichterte.

Beim nördlichen Strompfeiler der Elbbrücke kostete der ganze Fangdamm einschliefslich der Absteifungen 4560 *M*, also auf das Quadratmeter der dem Wasserdrucke ausgesetzten Fläche der Abdämmung berechnet, 18,81 *M*; beim südlichen Strompfeiler desgl. 3642 *M*, bezw. 15,03 *M*.

9. Ausführung des Mauerwerks.

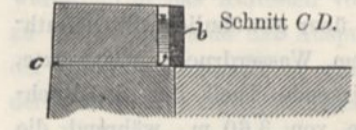
a) Aufmauerung der Strompfeiler.

Nach Fertigstellung der Fangedämme wurde im nördlichen Strompfeiler mittels einer Kreiselpumpe die Baugrube leer gepumpt und alsdann der Betonkörper im Trockenen auf + 2,90 m abgeglichen. Auf diesem wurde das Mauerwerk unter allmählicher Fortnahme der Quersteifen aufgeführt, indem die Aufrichter gegen das fertiggestellte Mauerwerk anderweitig abgestützt wurden. Beim südlichen Strompfeiler wurde dagegen nach Versetzen des untersten Werk- bezw. Schichtsteinkranzes die Schicht bis zu deren Oberkante (+ 3,20 m) ausbetonirt.

Im übrigen erfolgte die Aufmauerung so, dafs auf den Verlängerungsgerüsten vor den Vorköpfen der Cementmörtel in kleinen Buden bereitet wurde. Die Bevorzugung von Cementmörtel vor Trafsmörtel geschah, um bei annähernd gleichen Preisen die ortsübliche, den Arbeitern in der Handhabung geläufigere Mörtelart zu verwenden. Sämtliche Materialien wurden mittels des bei der Betonirung verwendeten Laufkrahnes aus den Fahrzeugen gehoben, und zwar die Quader mit Steinschlüsseln, die Ziegelsteine usw. auf Steintellern.

Auch das Versetzen der Vorkopfquader und der Auflagersteine erfolgte mit Hülfe des Laufkrahnes. Da die gewöhnliche Art des Vergiefsens von Werksteinen meistens sehr unvollständig ausgefüllte Lagerfugen ergiebt — insbesondere wenn die Unterfläche des Werksteins auch geringe muldenartige Höhlungen aufweist — wurden Versuche gemacht, die Vorkopfquader in ein volles Mörtelbett zu versetzen, was aber bei dem verwendeten Cementmörtel nicht gelang, indem letzterer durch das Hin- und Herarbeiten mit dem Quader schliefslich so schlüpfrig wurde, dafs es unmöglich war, den Quader genügend zu regieren. Man ging daher allgemein dazu über, die Quader nach dem nachstehend dargestellten Verfahren unter einer gewissen Druckhöhe des flüssigen Cementes zu vergiefsen.

Es wurden die zusammengehörigen Werksteine unter Aufkeilung zunächst in ihre richtige Lage gebracht und alsdann die beiden Seiten *a* der Stofsfugen sowie die Vorderseiten der Lagerfugen *c* mit schnellbindendem Cement verstrichen. Aufserdem wurde hinter jedem Stein ein schornsteinartiger Kasten *b* aus Ziegelsteinen aufgemauert. Nachdem endlich die hinteren Begrenzungen der Lagerfugen auf den Strecken zwischen diesen Kasten *b* verstrichen waren, wurde ein sehr dünnflüssiger Mörtel von 6 Theilen Cement und 1 Theil Sand in die oben offenen Stofsfugen so lange gegossen, bis, wie Schnitt *CD* zeigt, der Mörtel durch die Lagerfugen bis zur Oberkante der Kasten gestiegen war. Gleichzeitig wurden aufsen bei *c* mittels Nägel Oeffnungen hergestellt, aus denen die eingeschlossene Luft auch entweichen konnte. Nach Verlauf von etwa 6 Stunden konnten die Kasten wieder abgebrochen werden. — Wiederholte Besichtigungen nach Aufheben der so vergossenen Steine haben durchaus zufriedenstellende Lagerfugen gezeigt. Dem Cement wurde der geringe Sandzusatz beigegeben, um ihn specifisch schwerer zu machen.



Vergiefsen der Quader unter Druckhöhe des flüssigen Cementes.

Eine besonders erwähnenswerthe Arbeit bestand in der beim nördlichen Strompfeiler vorgenommenen Anbohrung des fertigen Mauerwerks. Nach der Fertigstellung desselben wurde durch die fortlaufend gemachten Cementproben der Verdacht erweckt, dafs der insbesondere bei dem genannten Pfeiler verwendete Cement nicht volumbeständig gewesen sei. Bei der geringen Stärke des Pfeilers hielt man es daher geboten, sich von der Beschaffenheit des Kernmauerwerks desselben in Bezug auf den zur Verwendung gekommenen Cementmörtel Aufschlufs zu verschaffen, und beschlofs, in ähnlicher Weise, wie es zu Bergwerkszwecken oft mit Diamantbohrern ausgeführt ist, den Pfeiler von oben mit einem Kernbohrer derart anzubohren, dafs der Bohrkern behufs Besichtigung in möglichst unverletztem Zustande zu Tage gefördert werden konnte. Die verwendete Bohrvorrichtung, welche von der Firma Desenifs u. Jacobi geliefert wurde, ist auf Bl. 40, Abb. 4 dargestellt. Das Bohrgestänge bestand aus einem mittels eiserner Muffen zusammengeschraubten schmiedeeisernen Rohre von 74 mm lichtem Durchmesser, an welches unten der stählerne, mit zahnförmiger Schneide versehene Bohrkopf angeschraubt war. Dieses Bohrgestänge wurde durch Nachdrehen einer Hebeschraube, welche sich von unten gegen einen mit Sandsäcken im Gewicht von 12000 kg beschwerten hölzernen Kasten stemmte, unter Druck gehalten, während es durch einen wagerechtn Tummelbaum in Drehung gesetzt wurde, und so allmählich hinuntergedreht. Der Bohrschlamm wurde mit Hülfe von Druckwasser hinausgespült, welches durch eine mit wasserdichten Packungen aufgeschraubte Muffe, innerhalb deren die Wand des Bohrgestänges durchlöchert war, in den Hohlraum desselben eingeführt wurde. Der cylindrische Bohrkern von etwa 7 cm im Durchmesser wurde sodann mittels der dargestellten Fangvorrichtung heraus-

geholt. Die Bohrung wurde nach Hinwegnahme einer Deckplatte zwischen den Auflagerquadern von der Ordinate + 9,38 m bis + 6,14 m, also 3,24 m tief in vier Tagen ohne besondere Schwierigkeiten bewirkt. Dabei wurde die obere 0,60 m starke, sehr harte Klinkerschicht mit durchbohrt. Der Bohrkern fand sich in Stücklängen von etwa drei Ziegelschichten getheilt, gewährte aber eine vortreffliche Anschauung von der Güte des Mauerwerks und ergab zum Glück die Grundlosigkeit der erwähnten Befürchtungen. Die Kosten betrugen für den Belastungskasten . . . . . 276,31 ℳ,
für Lieferung der Bohrvorrichtung . . . . . 251,50 „
für Arbeitslohn und Miethe der Druckwasserpumpe 120,00 „
zusammen 647,81 ℳ.

Von dem beschriebenen Verfahren kann unter Umständen Anwendung gemacht werden, wenn es sich um die nachträgliche Durchziehung von Ankern durch fertiges Mauerwerk u. dgl. handelt.

b) Aufmauerung der Portalpfeiler.

Mit Rücksicht auf die umfangreiche Verwendung von Werksteinen waren bei den Portalpfeilern Versetzgerüste errichtet, deren Breite (vgl. Bl. 40, Abb. 6) so bemessen war, dafs der Portalpfeiler in seiner ganzen Breite und aufserdem ein längs der Wasserseite desselben erbautes Baugeleis von dem oben befindlichen Laufkrahn bestrichen werden konnte. Bei Versetzung der Dampflaufkrahne von den Strompfeilern war deren Spannweite von 6,76 m auf 9,30 m vergröfsert worden; im übrigen verblieb die Bewegung und Bedienung der Laufkrahne genau so wie bei den Strompfeilern. Das Versetzgerüst hatte eine solche Höhe, dafs die sämtlichen beim Portal verwendeten Werksteine (mit Ausnahme der Granittreppenstufen für die oberen Theile der Thürme) durch den Krahn versetzt werden konnten. Bei der baulichen Ausbildung der Versetzgerüste konnte die seitliche Verstrebung der Joche nur an der Wasserseite erfolgen, da an der Landseite etwaige Schrägstreben die Herstellung der Fluthgewölbe behindert haben würden, während es leicht war, die lothrechten Pfosten auf der Landseite vor Ausführung der Gewölbe von den unteren Querzangen aus nach innen zu auf den mittlerweile fertiggestellten Pfeilerkörper abzufangen. Es mufsten somit die wasserseitigen Schrägstreben zug- und druckfest eingebaut werden.

Nachdem sämtliche Werksteine des Unterbaues versetzt waren, wurden die Laufkrahne abgenommen und bei der Billhorner Brücke wieder verwendet. Bei Ausführung der Backsteinaufbauten der Portale bildeten die Versetzgerüste die Unterlage für die in gewöhnlicher Weise hochgeführten Maurerstandrüstungen, während die Baumaterialien mit Hülfe einer unten stehenden festen Dampfwinde hochgewunden und oben vertheilt wurden.

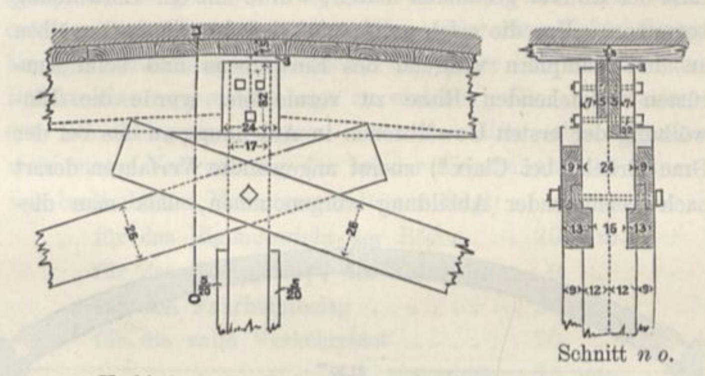
Die Portalbauten sind in sauberer Ausführung von dem Maurermeister P. H. Hevers hergestellt worden, welchem auch die übrigen Maurerarbeiten der Elbbrücke auf Grund einer Zahl von Einzelabmachungen übertragen waren.

c) Ausführung der gewölbten Fluthbrücken.

Die Fluth- und Widerlagspfeiler sind ganz ohne Versetzgerüste hergestellt, da bei der geringen Höhe alle Materialien auf Rampen hinaufgeschafft werden konnten; sie geben hinsichtlich der Bauausführung zu besonderen Bemerkungen keinen Anlafs.

Die zu den Fluthgewölben benutzten Lehrgerüste sind auf Bl. 40, Abb. 7 dargestellt. Für die Ausrüstung standen Hebeschrauben von 10 t Tragkraft zur Verfügung. Dementsprechend wurde deren Anzahl und Stellung so bemessen, dafs sie einen annähernd gleichen Druck von 9 t erhielten, woraus sich die Binderentfernung von 1,26 m mit beiderseits um 0,35 m überstehenden Gewölbstirnen ergab. Die Lehrgerüste wurden derart auf eingegrabenen Quer- und Langschwellen gelagert, dafs der Baugrund mit nur 1,2 kg/qcm beansprucht wurde.

Als abweichend von der üblichen Bauweise ist die Anordnung der Kranzbohlen unter Bezugnahme auf beistehende Abbildung zu erwähnen. Die bei Anwendung von doppelten



Schnitt *n o*.

Verbindung der Kranzhölzer mit den Radialstreben.

Kranzbohlen übliche Anordnung nämlich, bei welcher dieselben mit einem zwischen ihnen verbleibenden Zwischenraume an beiden Seiten der Radialstreben angeblattet sind, hat den Uebelstand, dafs bei den unvermeidlichen Ungenauigkeiten der Ausführung leicht nur eine der beiden Kranzbohlen eines Binders den Druck der Schalbretter aufnimmt und die Strebe sehr einseitig belastet. Um diesen Uebelstand zu vermeiden, sind die beiden Kranzbohlen, welche übrigens mit versetzten Stöfsen über zwei Felder reichen, unmittelbar nebeneinander und mit ihrer Mittelebene genau auf die Mitte der Streben gelegt, indem die Streben jedesmal an der den gestofsenen Kranzbohlen gegenüberliegenden Seite ausgeschnitten waren, sodafs die verbleibenden Seitenblätter abwechselnd auf beiden Seiten des Binders lagen.

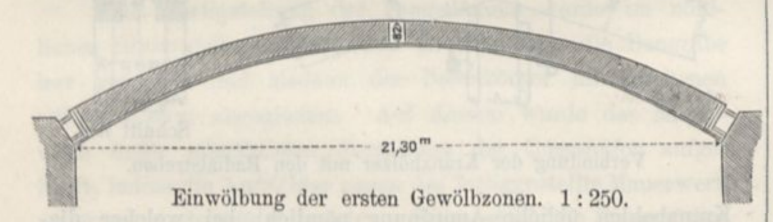
Um der zu erwartenden Senkung der Lehrgerüste Rechnung zu tragen, wurden bei der Zulage die Halbmesser der Wölblinie um 1 % verkürzt und dadurch eine Ueberhöhung des Scheitels um 4 cm erzielt. Die wirklichen Senkungen haben im Durchschnitt betragen:
während der Aufbringung der Belastung . . . 2,5 cm,
während der Einwölbung . . . . 0,8 „
bei der Ausrüstung . . . . 0,3 „
zusammen 3,6 cm,

sodafs also die Ueberhöhung sich als richtig gewählt erwies. Allerdings betrug die Senkung bei den zuerst zur Ausführung gekommenen westlichen Gewölbezonen der nördlichen Strafsenbrücke 7 cm. Diese gröfsere Senkung war aber dadurch hervorgerufen worden, dafs die Hebeschrauben mit ihren kleinen Kopf- und Fufsflächen unmittelbar gegen das weiche Kiefernholz der Holme stiefsen und sich daher in diese eindrückten. Die später erfolgte, in der Zeichnung nicht dar-

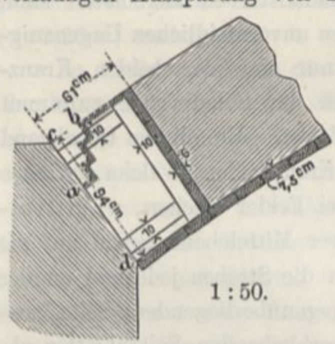
gestellte Anordnung von eichenen Zwischenstücken brachte erfolgreiche Abhülfe.

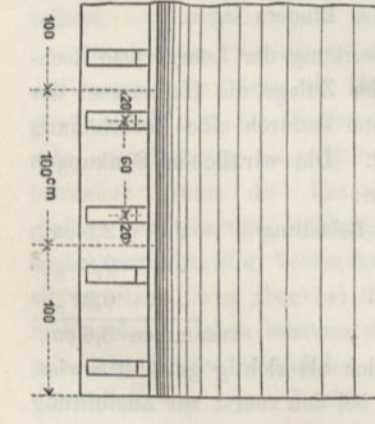
Zur Ersparung an Kosten wurden die Gewölbe zunächst in zwei Zonen von je 7,00 m nach einander unter Wiederverwendung der Lehrgerüste eingewölbt, auch dieselben Gerüste für die Fluthbrücken beider Vorländer verwendet. Bei der nachträglich genehmigten Ausführung der Verbreiterung, deren Mafs 8,70 m betrug, mufste die in der Zeichnung dargestellte Binderstellung von 1,26 m der gröfseren Gewölbstärke gemäfs auf 1,00 m vermindert werden, weshalb auch diese Verbreiterung, um mit den vorhandenen Lehrgerüsten auszureichen, in zwei Zonen ausgeführt wurde. Die Lehrgerüste haben die achtmalige Verwendung sehr gut ausgehalten.

Erst nachdem die Klinker auf die Lehrgerüste gebracht waren, und diese selbst zwei bis drei Tage unter der vollen Last der Klinker gestanden hatten, wurde mit der Einwölbung begonnen. Um die erfahrungsgemäfs bei derartigen Gewölben an den Kämpfern während des Einwölbens und beim Ausrüsten entstehenden Risse zu vermeiden, wurde die Einwölbung der ersten Gewölbzonen in Anlehnung an das bei der Drac-Brücke bei Claix*) zuerst angewandte Verfahren derart nach beistehender Abbildung vorgenommen, dafs man dieselbe nicht unmittelbar an den Kämpfern, sondern mit einer vorläufigen Aussparung von 10 Klinkerschichten, der Stärke eines Stirnquaders entsprechend, begann, welche später gleichzeitig mit dem Scheitel geschlossen wurde. Zu dem Ende wurde das Gewölbemauerwerk in der nebenstehend gezeichneten Weise gegen 6 cm starke Bohlentafeln gelehnt, welche in Stücklängen von 1 m behufs späterer Auswechslung hergestellt und durch Stempel gegen das Kämpfermauerwerk abgestützt waren. Als man mit den beiderseitigen Gewölbehälften bis in die Nähe des Scheitels gekommen, und die Zusammendrückung der Lehrgerüste bereits erfolgt war, sodafs die Aussparungen an den Kämpfern sich oben etwas erweitert hatten, wurden diese Aussparungen unter allmählicher Fortnahme der Bohlentafeln gleichzeitig mit dem Gewölbescheitel ausgemauert. In der That zeigten sich beim Ausrüsten keine Risse.



Einwölbung der ersten Gewölbzonen. 1 : 250.



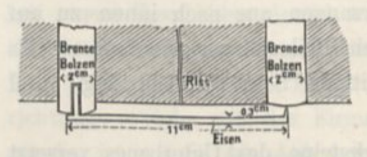


*) Vgl. Annales des ponts et chaussées, 1879; sowie Deutsche Bauzeitung 1878, S. 511.

Da es aber äufserst unbequem gewesen war, die verhältnifsmäfsig tiefen und engen Aussparungen an den Kämpfern auszumauern, so wurde bei den späteren Einwölbungen das von Housselle in der Deutschen Bauzeitung 1878, S. 509 empfohlene Verfahren befolgt, indem Kämpferaussparungen nach der in der Abbildung gestrichelten Linie *ab* angelegt wurden, sodafs beim Schlufs der Gewölbe nur der obere Keil *abc* auszumauern war. Die in der Kämpferfuge bei *a* auftretenden, nach unten verschwindenden Risse, welche sich in allen Gewölben beim Schlufs derselben zeigten, konnten leicht (unter Benutzung des Keils *abc* als Trichter) mit Cement ausgegossen werden. Beim Ausrüsten und nach demselben traten dann auch hier keine Risse mehr auf.

Während bei den Strompfeilern die Befürchtung, dafs infolge des vorläufigen Fehlens des eisernen Ueberbaues für die zukünftige Verbreiterung die grofse einseitige Belastung zu ungleichmäfsigen Senkungen der Pfeiler führen und Querrisse in denselben zwischen den inneren Auflagern der Strafsenbrücke und der späteren Verbreiterung veranlassen würde, sich trotz des geringen Pfeilerquerschnitts nicht verwirklicht hat, wurden an den Fluthpfeilern anfangs 1887, also vor Herstellung der Gewölbeverbreiterung, lothrechte Risse entdeckt, welche bei einer mittleren, nach unten sich erweiternden Breite von rund 3 mm die Fluthpfeiler in ihrer ganzen Höhe quer durchsetzten. Diese Risse sind im Mittel ohngefähr 1,5 m von der Grenze zwischen dem Strafsengewölbe und der nachherigen Verbreiterung in der Richtung nach dem ersteren zu entfernt. Nach Herstellung der gesamten Gewölbebreite haben sich diese Risse, welche offenbar durch die einseitige Einwirkung der Strafsengewölbe entstanden waren, wieder geschlossen.

Aufserdem traten in den Stirnmauern der Fluthgewölbe kurz nach ihrer Herstellung, und zwar auf beiden Seiten übereinstimmend, dicht am Portal- und Widerlagspfeiler, somit ohngefähr über den Mitten der vier Gewölbhälften, schräg verlaufende, jedoch nicht das Gewölbe durchsetzende Risse von etwa 4 mm Weite auf. Es scheint fast, als ob diese Rifsbildungen auf Temperatureinflüsse zurückzuführen sind. Sie wurden mittels der beistehend gezeichneten Vorrichtung, die sich von selbst erklärt, sorgfältig beobachtet, und es ergab sich hierbei, dafs bei sehr starkem Frost die Risse sich erweiterten und bei steigender Temperatur wieder zusammengingen. Die Risse sind im August 1888 unter Ausstemmung des benachbarten Mauerwerks zugemauert worden.



10. Ausführung des eisernen Ueberbaues.

Der eiserne Ueberbau wurde von der Actien-Gesellschaft Harkort in Duisburg übernommen und in deren Werkstatt in Hochfeld zugelegt. Von dem Walzeisen wurden die Winkel und Flacheisen einschliefslich der Gurtungsplatten, welche durch Universalwalzen hergestellt wurden, von dem eigenen Walzwerk der Gesellschaft in Hochfeld, die Bleche von Franz Bicheroux Söhne in Duisburg, die I- und T-Eisen von der Burbacher Hütte geliefert. Es wurde auf dem Werkstattshofe die Hälfte eines Hauptträgers vollständig zusammengepafst, dessen Stücke sodann als Schablonen für die anderen

Träger dienten. Von den Hauptträgern wurden in der Werkstatt nur die Horizontalstege der Bogengurtungen mit den zugehörigen Winkeleisen für zwei Felderlängen zusammengenietet und die vergitterten Stäbe der Verticalen und Hängegitter fertiggestellt, alle übrigen Verbindungen auf den Montirungsgerüsten ausgeführt, sodafs keine Stücke von grofsem Gewicht zu heben waren, da die schweren Querträger unmittelbar auf die Rüstung gefahren werden konnten.

Auf der Baustelle war für die Zwecke des eisernen Ueberbaues eine Fläche neben dem sonstigen Werkplatze des Brückenbaues am rechten Elbufer zur Verfügung gestellt, welche von dem benachbarten Rangirbahnhofe aus einen bequemen Geleisanschlufs für die Zuführung der ankommenden Eisentheile hatte, und von wo aus die Eisentheile stets mittels Baugeleise über die fertigen Brückenöffnungen nach der Verwendungsstelle befördert werden konnten. — Bezüglich des Ganges der Aufstellungsarbeiten wird auf das oben im Abschnitt „Geschichtliches" Gesagte Bezug genommen.

Die Rüstung zur Aufstellung des Ueberbaues, welche von der Gesellschaft Harkort nach ihrem eigenen Entwurfe ausgeführt wurde, bestand aus einem in der Höhe von + 9,93 m abgedeckten Untergerüst, auf welchem die Querträger der Brückenfahrbahn mittels Kopfschrauben, bezw. Keile gelagert waren, und einem bis + 28,87 m hinauf reichenden Obergerüst. Während dieses Obergerüst für jedes Feld der Brückenträger einen Binder enthielt, welcher um 60 cm seitwärts von den Knotenpunkten gestellt war, bestand das Untergerüst im allgemeinen aus Sprengwerken von 11,55 m, der Länge von drei Brückenfeldern entsprechend, mit gerammten Jochen von je 9 Pfählen.

Obwohl die Oeffnungen des Untergerüstes für den Durchgang unbemasteter Fahrzeuge bei richtiger Steuerung derselben benutzbar gewesen wären, wurde doch wegen der grofsen Gefahren die Durchfahrt unter den Rüstungen gänzlich verboten und die Schiffahrt auf die eine stets frei bleibende Brückenöffnung verwiesen. Dabei zeigten sich während der Aufstellung der beiden ersten Brückenspannweiten im Jahre 1886 besondere Mafsnahmen erforderlich, um die aus dem Oberhafen-Canal kommenden Fahrzeuge auch bei starkem Ebbestrome sicher von den gesperrten Oeffnungen fern zu halten. Es wurde daher in Verlängerung des südlichen Canalufers bis etwa zur Mitte des Elbstromes eine Reihe von Dalben mit zwischengehängten Ketten hergestellt, sodafs die Schiffahrt gezwungen war, die vorderste Dalbe zu umfahren und so die südliche Brückenöffnung mit gröfserer Sicherheit zu erreichen.

Das Obergerüst war durch zwei in der Längenrichtung der Brücke liegende wagerechte Holme mit Laufschienen aufserhalb der Hauptträger in 9,80 m Abstand von einander abgeschlossen, auf welchen sich ein bockförmiger elektrisch betriebener Laufkrahn bewegte. Die Dampfmaschine mit Dynamo war in einem Schuppen auf der Verlängerung des nördlichen Strompfeilers untergebracht. Die Vorrichtung war darauf berechnet, eine Last von 1250 kg bei 1200 Umdrehungen um 3,09 m in der Minute zu heben; kleinere Lasten von 625 kg um 6,57 m. Das Laufwerk sowohl wie das Querverschiebwerk bewegten die Last mit einer Geschwindigkeit von 10 m in der Minute. An dem Obergerüst waren zu beiden Seiten jeder einzelnen Bogengurtung, den Krümmungen derselben im Abstande von 0,85 m unter der Gurtungsmittellinie folgend, feste Arbeitsbühnen hergerichtet; nur für die mittlere Strecke der äufseren Druckbogengurtung, welche über die Höhe des Obergerüstes hinauf reichte, waren Hülfseinrichtungen für die Nietmannschaften erforderlich.

Bezüglich der Aufstellungsweise war vorgeschrieben, dafs in jeder einzelnen Spannweite zunächst der Zug- und Druckbogen der Hauptträger nebst dem oberen Querverbande für sich zusammengenietet und ohne Belastung durch die Fahrbahntheile ausgerüstet werden solle, darauf die Verbindungsstangen zwischen Zug- und Druckbogen einzuziehen und dann erst die Fahrbahntheile anzuhängen seien, weshalb die Nietlöcher für die nach dem Ausrüsten der Hauptträger herzustellenden Anschlüsse erst an Ort und Stelle gebohrt wurden.

Die Hauptträger selbst wurden ohne Ueberhöhung zugelegt und aufgestellt. Dagegen war für die Fahrbahn durch entsprechende Verkürzung der Hängegitter eine Ueberhöhung bei der Aufstellung vorgesehen, um später bei vollbelasteter Brücke eine wagerechte Lage zu erzielen. Die zu erwartenden Durchbiegungen waren für die Mitte einer Spannweite unter Verwerthung der bei der Eisenbahnbrücke seinerzeit beobachteten Mafse ermittelt wie folgt:

für das Eigengewicht der Bögen . . .	20	mm,
für das Eisengerippe der Fahrbahn .	9	„
für den Fahrbahnbelag	26	„
für die volle Verkehrslast	20	„
zusammen	75	mm.

Demgemäfs war das mittelste Hängegitter von vornherein um 75 mm gekürzt, und die Fahrbahn wurde nach dem Ausrüsten der Hauptträger, deren Durchbiegung zu 20 mm berechnet war, mit einer Ueberhöhung von 55 mm angehängt. Die thatsächlich beim Ausrüsten der Hauptträger beobachteten Senkungen, welche sich beim Zugbogen in den Grenzen zwischen 5 mm und 20 mm, beim Druckbogen zwischen 15 mm und 34 mm gehalten haben, verdienen wenig Beachtung, da die Einwirkung nachträglicher Temperaturveränderungen in dem fest aufgekeilten Bogenträger das Ergebnifs offenbar beeinflussen mufsten.

Die Verbindungsstangen zwischen den beiden Bögen eines Trägers sind ebenso wie bei der alten Elbbrücke durch zwei wagerechte in der Längenrichtung der Brücke durchgeführte Drähte gefafst, um die Seitenschwankungen zu beseitigen, welchen diese langen, bis zu 13 m messenden Stangen mit ihrem in dieser Richtung geringen Trägheitsmoment sonst bei starkem Winde ausgesetzt waren. Die Drähte, von der Stärke gewöhnlicher Telegraphendrähte, sind durch Löcher in den Verbindungsstangen durchgezogen und in den Durchbohrungen durch kegelförmige, auf die Drähte aufgezogene geschlitzte Hülsen festgeklemmt.

Für den Anstrich der unteren Seite der Fahrbahn sind in allen drei Spannweiten fahrbare Anstreichergerüste vorhanden, welche auf den äufseren Saumträgern des Fufswegbelages laufen, also etwa 13 m Stützweite haben, und aus leichtem eisernem Fachwerk hergestellt sind.

II. Absägen der Strompfeiler-Pfahlwände.

(Bl. 40, Abb. 5.)

Nach Fertigstellung des eisernen Ueberbaues wurden die 26 cm starken Pfahlwände der Strompfeiler, welche bis da-

hin in ihrer ursprünglichen Höhenlage von + 7,20 m behufs Unterstützung der Rüstungen für den eisernen Ueberbau stehen geblieben waren, auf die planmäfsige Höhe von + 2,90 m, also fast 0,40 m unter MNW (Gem. Ebbe), abgesägt, bezw. soweit eingesägt, dafs sie darnach leicht abgebrochen werden konnten. Dieses Abschneiden war durch den stets wechselnden Wasserstand erschwert, welcher eine schwimmende Sägevorrichtung ausschlofs.

Die von Menck u. Hambrock entworfene und gelieferte Vorrichtung bestand der Hauptsache nach aus einem Wagen, welcher auf den noch nicht angesägten Theil der Pfahlwand gestützt war, indem er vermittelst zweier Laufräder auf einer über die Pfahlköpfe gelegten Laufschiene ritt. Zur Herstellung einer genügenden Standsicherheit besafs der Wagen, dessen Schwerpunkt nach aufsen gelegt war, auf beiden Seiten der Pfahlwand in zwei verschiedenen Höhen Führungen, indem er sich mittels der hier angeordneten Führungsrollen gegen Gurthölzer lehnte, welche die Seitendrücke auf die Pfahlwand übertrugen. Der Wagen trug eine vierpferdige Dampfmaschine, welche vermittelst eines Zahnradgetriebes von zweifacher Uebersetzung eine durch einen versteiften Mäkler geführte lothrechte Welle und das an denselben verschraubte Sägeblatt in Bewegung setzte. Letzteres war mit einer Führungsscheibe versehen, welche den Einschnitt in die Pfähle nur bis zu einer Tiefe von 24 cm gestattete, um bei unregelmäfsiger Stellung der Pfähle die Beschädigung des Sägeblattes durch Eindringen in den Beton zu verhindern, sowie ein Umkippen des fertig abgesägten Theiles der Pfahlwand zu vermeiden. Die Dampfzuleitung zur Maschine erfolgte mittels Dampfschlauches von einem in einer Schute aufgestellten Dampfkessel aus. Das Zahnradgetriebe stand mit einem Schwungrad in Verbindung. Die Welle mit Mäkler war in lothrechtem Sinne drehbar, sodafs sie eine pendelnde Bewegung senkrecht zur Pfahlwand ausführen, und die Säge durch eine von Hand betriebene Spindel an die Pfähle angedrückt werden konnte. Die Fortbewegung der ganzen Sägevorrichtung wurde vom Wagen aus durch eine Handkurbel mit Zahnradgetrieb bewirkt, welches an dem vorderen Laufrade des Wagens angriff. Das aus Stahl gefertigte Sägeblatt hatte einen Durchmesser von etwa 90 cm, eine Stärke von $3\frac{1}{2}$ mm, und besafs die in der Zeichnung angedeutete Verzahnung. Die Zahnverschränkung betrug 15 mm.

Durch Einlegen von kleinen Drehscheiben zwischen den Schienenstücken an den Pfahlwandecken und durch die Verstellbarkeit der Laufräder um eine lothrechte Achse war es ermöglicht, dafs der Wagen die scharfen Ecken umfahren konnte. Zur Sicherung der Standfestigkeit des Wagens beim Umfahren dieser Ecken waren die Gurthölzer der Pfahlwand durch Pafsstücke derart verkleidet, dafs auch hier die seitlichen Führungsrollen stets zur Anlage kamen. Das Sägen selbst nahm erst nach längerer Uebung der Mannschaften einen geregelten Fortgang, umsomehr, als ein guter Betrieb nur unter besonderer Vorsicht in der Handhabung sämtlicher einzelnen Theile aufrecht erhalten werden konnte. Zur Erzielung eines richtigen Schnittes auf gerader Strecke mufste die Fortbewegung des Wagens gleichzeitig und gleichmäfsig mit der Sägearbeit Schritt halten. An den Ecken der Pfahlwände war man dagegen genöthigt, das andauernde Einsägen unter gleichzeitiger Vorwärtsbewegung des Wagens aufzugeben, da das Sägeblatt durch das Abschwenken beim Drehen des Wagens weiter von der Pfahlwand abrückte.

Beim nördlichen Strompfeiler wurden täglich im Durchschnitt 5,5 lfd m, beim südlichen 6,5 lfd m Pfahlwand abgesägt. Die gröfsere Leistung bei letzterer Pfahlwand ist lediglich auf die bessere Uebung der Bedienungsmannschaft zurückzuführen, was um so mehr sagen will, als die Schwierigkeiten durch die im Bereiche der Grundsäge sehr dicht geschlagenen 15 cm langen Nägel des Fangedammes erheblich gröfser waren als beim nördlichen Strompfeiler. Werden übrigens die Fangedammbohlen, wie oben vorgeschlagen, auf 1 bis 2 m Länge mit einbetonirt, also unten eingespannt, dann kann gerade unten die Nagelung fehlen, sodafs bei Anwendung von Segeltuchfangedämmen auch mit Rücksicht auf das etwa erforderlich werdende spätere Abschneiden der Umschliefsungswände die Empfehlung der Anordnung mit aufgenagelten, aber unten eingespannten Bohlen aufrecht erhalten werden kann.

Bei geregeltem Gange machte die Dampfmaschine rund 80, die Säge infolge dessen 160 Umdrehungen in der Minute. Beschäftigt waren beim Betriebe der Vorrichtung im ganzen fünf Mann, und zwar ein Maschinist und ein Gehülfe zur Bedienung der Dampfmaschine und der Handmechanismen, ferner je ein Zimmermann, Heizer und Jollenführer.

Das schliefsliche Abbrechen der Pfähle erfolgte derart, dafs dieselben nach dem Pfeiler zu umgekippt und alsdann ruckweise nach vorne übergeholt wurden. Hierbei war ein Absplittern der Pfähle an der Einschnittstelle unvermeidlich, sodafs ein Nachputzen daselbst in Tidenarbeit nothwendig wurde. Die Gesamtkosten des Abschneidens und Abbrechens haben rund 44 ℳ/lfd m betragen.

12. Kosten.

Die wirklich entstandenen Baukosten ergeben sich aus folgender Zusammenstellung. Es sind ausgegeben für:

1.	Werkplatz und dessen Gebäude . . .	88 881,41 ℳ,
2.	Beschaffung von Inventar	42 457,17 ℳ,
3.	Beschaffung von Baumaterialien . . .	601 904,01 ℳ,
4.	Beschaffung sonstiger Materialien . .	15 902,30 ℳ,
5.	Beschaffung u. Bedienung der Fahrzeuge	40 095,59 ℳ,
6.	Erd- und Baggerarbeiten	27 622,18 ℳ,
7.	Rammarbeiten einschliefslich Material .	167 367,27 ℳ,
8.	Herstellung und Versenkung des Betons	35 771,20 ℳ,
9.	Herstellung des Steinwurfs einschliefslich Material	23 313,85 ℳ,
10.	Fangedämme und Wasserschöpfen bei den Strompfeilern	9 557,09 ℳ,
11.	Ausführung des Mauerwerks einschliefslich Rüstungen	279 430,58 ℳ,
12.	Eisenconstruction	790 073,46 ℳ,
13.	Fahrbahn, Geländer und Beleuchtungsanlagen	164 562,23 ℳ,
14.	Bauleitung, Aufsicht und Bewachung .	174 128,66 ℳ,
15.	Insgemein	5 261,11 ℳ,
	Gesamt-Baukosten:	2 466 328,11 ℳ.

Ein Vergleich mit den Baukosten der benachbarten Eisenbahnbrücke, welche 2 084 195 ℳ betragen haben*), dürfte nicht ohne Interesse sein.

*) Zeitschrift für Bauwesen 1885. S. 202.

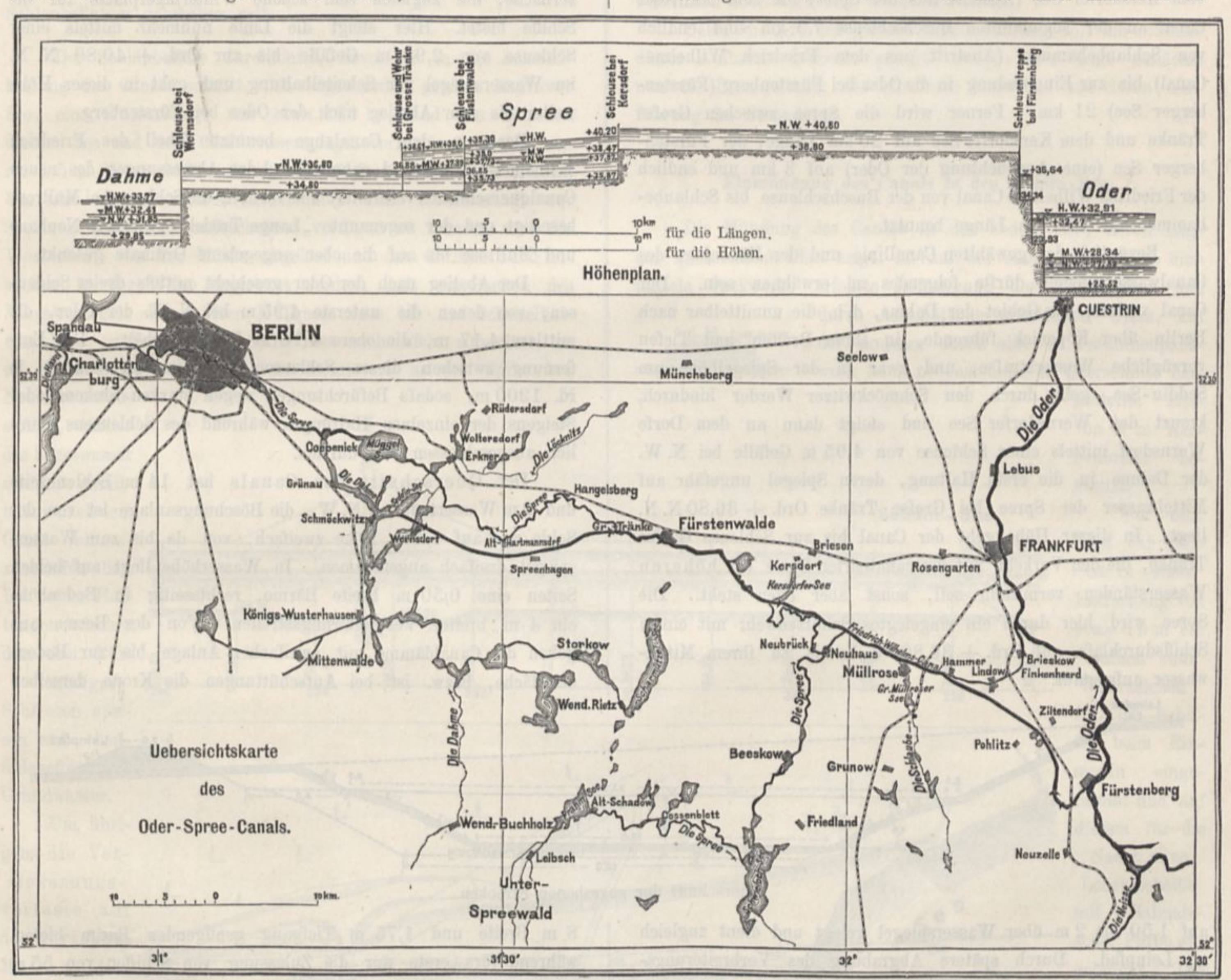
Der Oder-Spree-Canal und seine Bauten.

(Mit Zeichnungen auf Blatt 57 bis 65 im Atlas.)

Allgemeines.

In den verschiedensten Zeiträumen und in den abweichendsten Linienführungen ist eine Verbindung der Oder mit der Elbe theils geplant, theils auch zur Ausführung gelangt. Nachdem in den vergangenen Jahrhunderten der Müllroser (Friedrich Wilhelms-) Canal einerseits, der Finow-Canal anderseits zu diesem Zwecke erbaut waren, und zwar der erstere als Verbindung der Oder mit der Spree, der letztere als solche mit der Havel, der eine mehr oberhalb abzweigend und einen Aufschlufs der oberen Odergebiete bezweckend, der andere weiter unterhalb als kürzester Wasserweg zwischen den Handelsstädten der Ostsee und den an der Elbe belegenen Handelsgrofsplätzen dienend, erwies es sich bei dem fortschreitenden Wachsthum der Hauptstadt Berlin und dem Emporblühen des Handels in ihr immer mehr als erforderlich, die Aufschliefsung des Bergbaugebietes von Oberschlesien nach dem grofsen Handelsplatz Berlin hin durch Erbauung einer neuen Wasserstrafse zu bewirken.

Die gleichzeitig ins Auge gefafste Verbesserung des Oderfahrwassers sowohl, als die Herstellung eines unmittelbaren Wasserweges von der Oder bis zur Elbe unter Anschlufs der



Hauptstadt liefsen es rathsam erscheinen, die auf der Elbe verkehrenden gröfseren Schiffe von 8000 bis 10 000 Ctr. Tragfähigkeit in Abmessungen von $55 \times 8 \times 1{,}75$ m ohne Umladung auf der Oder schon jetzt und solche von 65 m Länge späterhin zuzulassen, und so mufste naturgemäfs, da die Schleusen der älteren Wasserstrafsen sowohl, als auch die Breite und Tiefe der Canäle einen solchen Durchgangsverkehr nicht gestatteten, der Erbau eines neuen Canals diesen Schiffsabmessungen entsprechend ins Auge gefafst werden. Hierbei konnte auch gleichzeitig berücksichtigt werden, dafs eine Abzweigung dieser neuen Wasserstrafse mehr oberhalb den Wasserweg auf der Oder verkürzte und so die Regulirung dieses Flusses, weil kürzer in der Strecke, auch weniger kostspielig machte.

Die Benutzung eines Theiles des Spreelaufs und des Friedrich Wilhelms-Canals endlich liefsen den jetzt zur Ausführung gekommenen Entwurf des Canals als das vortheilhafteste erscheinen, und so wurde derselbe nebst Kostenüberschlag im Betrage von 12 600 000 ℳ am 13. März 1886 dem Landtage zur Genehmigung vorgelegt und seine Ausführung nach ertheilter Zustimmung des Abgeordnetenhauses und Herrenhauses durch das Gesetz vom 9. Juli 1886 als Anleihebau angeordnet.

Die allgemeinen Vorarbeiten waren der politischen Lage der Canallinie gemäfs theils bei der Regierung in Potsdam,

theils bei der in Frankfurt a/O. gemacht worden, und zwar in der Strecke von dem Seddin-See ab bis Fürstenwalde bei der ersteren, von Fürstenwalde bis Fürstenberg a/O. bei der letzteren. Dagegen wurde es für zweckmäfsig erachtet, die Ausführung des Baues in eine Hand zu legen und dem Regierungs-Präsidenten in Potsdam zu unterstellen.

Die Führung der Canallinie erhellt aus dem vorseitig beigefügten Lageplan, während der Höhenplan darüber die Wasserspiegelhöhen der einzelnen Canalstrecken erkennen läfst. Der Canal hat eine Gesamtlänge von 87 km, wovon auf neu gegrabene Canalstrecken 52,5 km treffen, und zwar vom Seddin-See bis Grofse Tränke (Einmündung in die Spree) 24 km, vom Kersdorfer See (Austritt aus der Spree) bis zum Müllroser Canal an der sogenannten Buschschleuse 7,5 km und endlich von Schlaubehammer (Austritt aus dem Friedrich Wilhelms-Canal) bis zur Einmündung in die Oder bei Fürstenberg (Fürstenberger See) 21 km. Ferner wird die Spree zwischen Grofse Tränke und dem Kersdorfer See auf 20 km Länge, der Fürstenberger See (eine Ausbuchtung der Oder) auf 3 km und endlich der Friedrich Wilhelms-Canal von der Buschschleuse bis Schlaubehammer auf 11,5 km Länge benutzt.

Bezüglich der gewählten Canallinie und der Höhenlage des Canalwasserspiegels dürfte folgendes zu erwähnen sein. Der Canal verläfst das Gebiet der Dahme, d. h. die unmittelbar nach Berlin über Köpenick führende, in ihren Breiten und Tiefen vorzügliche Wasserstrafse, und zwar in der Spiegelhöhe am Seddin-See, geht durch den Schmöckwitzer Werder hindurch, kreuzt den Wernsdorfer See und steigt dann an dem Dorfe Wernsdorf mittels einer Schleuse von 4,95 m Gefälle bei N. W. der Dahme in die erste Haltung, deren Spiegel ungefähr auf Mittelwasser der Spree bei Grofse Tränke Ord. + 36,80 N. N. liegt. In dieser Höhe geht der Canal bis zur Schleuse Grofse Tränke, die den Verkehr mit der canalisirten Spree bei höheren Wasserständen vermitteln soll, sonst aber offen steht. Die Spree wird hier durch ein eingelegtes Schützenwehr mit einem Schiffsdurchlafs auf Ord. + 36,80, d. h. bis zu ihrem Mittelwasser aufgestaut.

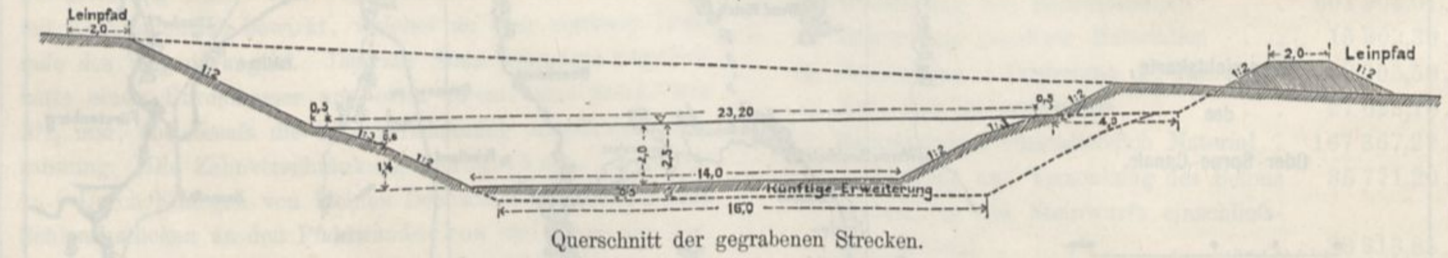
Von Grofse Tränke ab geht die Linienführung in der Spree bis Fürstenwalde 6 km entlang. Der hier vorhandene Mühlenstau von 0,88 m im höchsten Falle, zu dessen Ueberwindung schon jetzt eine nach Finowcanalmafs zweischiffig angelegte Schleuse dient, wird durch eine für gröfste Schiffe neu erbaute, ebenfalls zweischiffige Parallelschleuse überwunden, während das Freiwasser der Spree durch eine Arche mit Schützen und eiserner Ueberbrückung mit gepflasterter Fahrbahn von 28,26 m lichter Durchflufsöffnung abgeführt wird.

Der Canal geht nunmehr im canalisirten Flufsbett der Spree weiter bis zum Kersdorfer See, einer mit der Spree in unmittelbarer Verbindung stehenden, ziemlich bedeutenden Wasserfläche, die zugleich sehr schöne Winterlagerplätze für die Schiffe bietet. Hier steigt die Linie nunmehr mittels einer Schleuse von 2,93 m Gefälle bis zur Ord. + 40,80 N. N. im Wasserspiegel zur Scheitelhaltung und geht in dieser Höhe weiter bis zum Abstieg nach der Oder bei Fürstenberg.

Der von dem Canalzuge benutzte Theil des Friedrich Wilhelms-Canals wird entsprechend den Abmessungen des neuen Canalquerschnittes verbreitert und vertieft, die Schleuse bei Müllrose beseitigt und der sogenannte „Lange Trödel" zwischen Neuhaus und Müllrose bis auf die oben angegebene Ordinate gesenkt.

Der Abstieg nach der Oder geschieht mittels dreier Schleusen, von denen die unterste 4,95 m bei N. W. der Oder, die mittlere 4,17 m, die obere 4,16 m Gefälle erhält. Die Entfernung zwischen diesen Schleusen untereinander beträgt je rd. 1200 m, sodafs Befürchtungen wegen starken Sinkens oder Steigens der einzelnen Haltungen während des Schleusens ziemlich ausgeschlossen sein dürften.

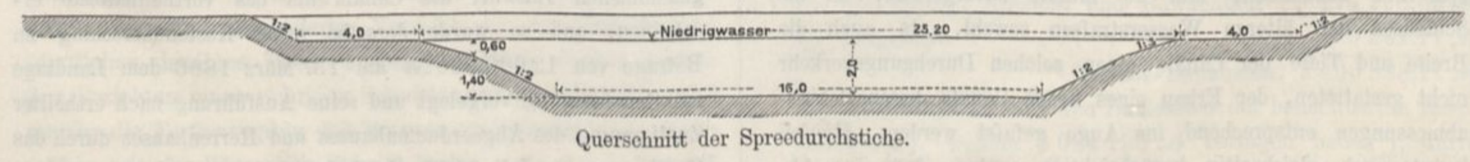
Der Querschnitt des Canals hat 14 m Sohlenbreite und 2 m Wassertiefe bei N. W., die Böschungsanlage ist von der Sohle aus auf 1,4 m Höhe zweifach, von da bis zum Wasserspiegel dreifach angenommen. In Wasserhöhe liegt auf beiden Seiten eine 0,50 m breite Bärme, rechtsseitig in Bodenhöhe ein 4 m breiter Verbreiterungsstreifen. Von der Berme aus gehen die Canaldämme mit zweifacher Anlage bis zur Bodenoberfläche, bezw. ist bei Aufschüttungen die Krone derselben



Querschnitt der gegrabenen Strecken.

auf 1,50 bis 2 m über Wasserspiegel gelegt und dient zugleich als Leinpfad. Durch spätere Abgrabung des Verbreiterungsstreifens kann der Canal, wie aus der vorstehenden Zeichnung ersichtlich, auf 16 m Sohlenbreite und 2,5 m Wassertiefe erweitert werden, ohne den Böschungen andere Verhältnisse als die oben angeführten geben zu müssen. Diese letzteren Abmessungen werden auch gröfsten Schiffen von 65 m Länge, 8 m Breite und 1,75 m Tiefgang genügenden Raum bieten, während fürs erste nur die Zulassung von Schiffen von 55 m Länge, 8 m Breite und 1,75 m Tiefgang geplant ist.

Die Spree selbst soll, soweit sie zu Canalzwecken benutzt wird, in 20 m Sohlenbreite bis auf 2 m unter Niedrigwasser ausgetieft werden, während den Durchstichen in derselben der nachstehende Querschnitt gegeben ist.



Querschnitt der Spreedurchstiche.

Betreffs des Sohlengefälles in den einzelnen Haltungen ist, wie schon erwähnt, das Normalwasser der Spree unterhalb Fürstenwalde durch das Wehr bei Grofse Tränke auf Ord. + 36,80 N. N. begrenzt, während dasselbe oberhalb

des Fürstenwalder Staues durch die dortigen Stauanlagen auf + 37,73 N. N. festgesetzt ist. Das Gefälle derselben ist bei Normalwasser durchweg auf 1 : 100000 angenommen. Ebenso ist der Canalsohle in den gegebenen Canalstrecken ein Gefälle von etwa 1 : 150000 nach den Endschleusen hin gegeben.

Bezüglich der Speisung des Canals bleibt noch zu bemerken, dafs die Haltung Grofse Tränke-Seddin-See unmittelbar aus der Spree gespeist wird, während dies bei der Scheitelhaltung Kersdorfer See-Fürstenberg theils durch das Grundwasser des Langen Trödels im alten Friedrich Wilhelms-Canal und einestheils der neu gegrabenen Strecke Buschschleuse-Kersdorfer See (etwa bis zur Sandfurth hin), theils durch das Wasser des Schlaubeflusses geschehen soll.

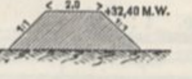
Der Schlaubeflufs durchfliefst, bevor er in die Scheitelhaltung des Canals eintritt, den sogenannten grofsen Müllroser See, eine Wasserfläche von etwa 130 ha, und das zwischen diesem See und dem Canalwasserspiegel vorhandene Gefälle von rd. 1,5 m diente bisher dazu, die Müllroser Mühle zu treiben. Um nun in wasserarmen Zeiten über diese Wassermenge zur Speisung des Canals unbeschränkt verfügen zu können, wird die Wasserkraft von der Mühle abgelöst und das Gerinne zu Freiarchen in der Weise umgebaut werden, dafs ein Senken des Wasserspiegels des grofsen Müllroser Sees bis auf Scheitelhaltungshöhe erfolgen kann. Sollte dies auch nicht zureichen, so ist in Aussicht genommen, ein Pumpwerk an der Spree bei Neuhaus aufzustellen, welches das Spreewasser alsdann unmittelbar nach dem Canal hinaufzuschaffen hat. Die beiden Haltungen zwischen den drei Fürstenberger Schleusen speisen sich ebenfalls selbst durch Grundwasser.

Um übrigens die Versickerungsverluste auf das geringste Mafs zu beschränken, ist auf der Strecke Schlaubehammer-Fürstenberg, die mit der Sohle überall über Grundwasser liegt, da wo nur einigermafsen durchlässige Bodenarten, scharfer Mauersand, Kies u. dgl. gefunden wurden, Lehm in 30 cm Stärke als Plattirung eingebracht und aufserdem das Wasser beim Füllen der einzelnen Strecken durch Lehmauflösungen getrübt, welche Dichtungsarten sich bis jetzt ganz aufserordentlich gut bewährt haben. — Was nun die bei dem Canalaushub angetroffenen einzelnen Bodenarten anbetrifft, so ist fast durchgängig feiner Sand, an einzelnen aber nur sehr kurzen Strecken Schluff und Lehm (bei Wernsdorf) und endlich Torf in den einzelnen durchschnittenen Lüchern angetroffen. Das Auffinden von Kiesadern und gröberen Sandarten hat sich fast nur auf die Strecke Schlaubehammer-Fürstenberg beschränkt. Aufserdem sind leider auf den Schleusenbaustellen in Wernsdorf und der unteren Schleuse bei Fürstenberg bei der ersteren in Schluff gelagerte gröfsere Findlinge, bei der letzteren dergleichen in Sand gelagert angetroffen, welche die Ausführung dieser Bauwerke nicht unwesentlich erschwert und vertheuert haben.

Ueber die Art der ganzen Bauausführung soll am Schlusse dieses Aufsatzes näheres gesagt werden; hier folge zunächst nun die Beschreibung der einzelnen Bauwerke und deren Ausführung im besonderen.

Einmündung des Canals in den Seddin-See.

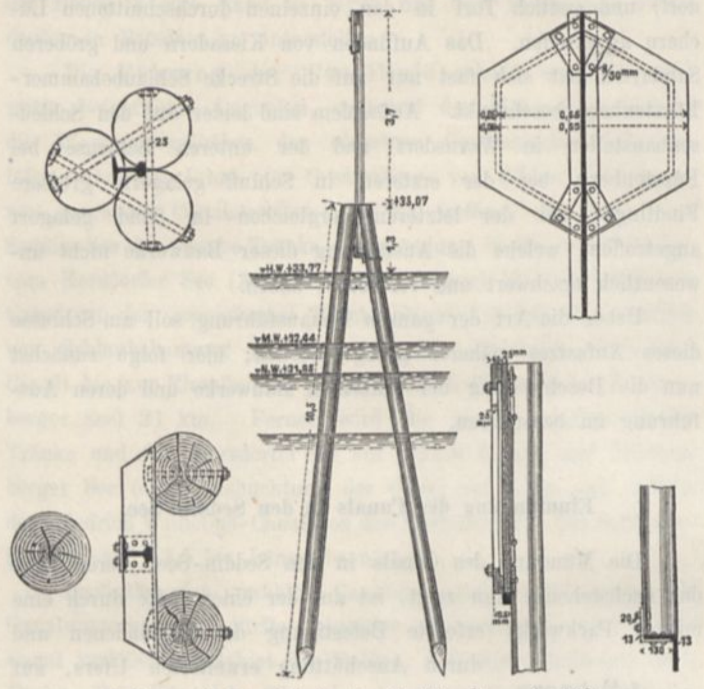
Die Mündung des Canals in den Seddin-See, deren Lage der nachstehende Plan zeigt, ist auf der einen Seite durch eine mittels Packwerks erfolgte Befestigung des vorhandenen und durch Anschüttung erweiterten Ufers, auf der anderen durch eine in Faschinenpackwerk nach nebenstehendem Querschnitt hergestellte Mole von 2 m Kronenbreite begrenzt.



Vor dem Kopf der Mole ist in einer Entfernung von etwa 10 m ein Dalben zum Wahrzeichen für die Schiffer beim Einsegeln eingerammt und auf diesem für die Nacht eine Leuchtscheibe mit Balmainscher Farbe angebracht. Die Scheibe selbst, aus Glas hergestellt, das auf seiner Rückseite mit der gedachten Farbe gestrichen ist, ruht in einem hölzernen Rahmen auf durchgehendem Holzuntergrund und ist als regelmäfsiges Sechseck gestaltet. Der Rahmen ist an eine senkrecht aufgestellte Eisenbahnschiene befestigt und letztere zwischen die drei Pfähle des Dalben auf einem als Unterlage dienenden Winkeleisen, mit dem sie verlascht ist,

Einmündung des Canals in den Seddin-See.

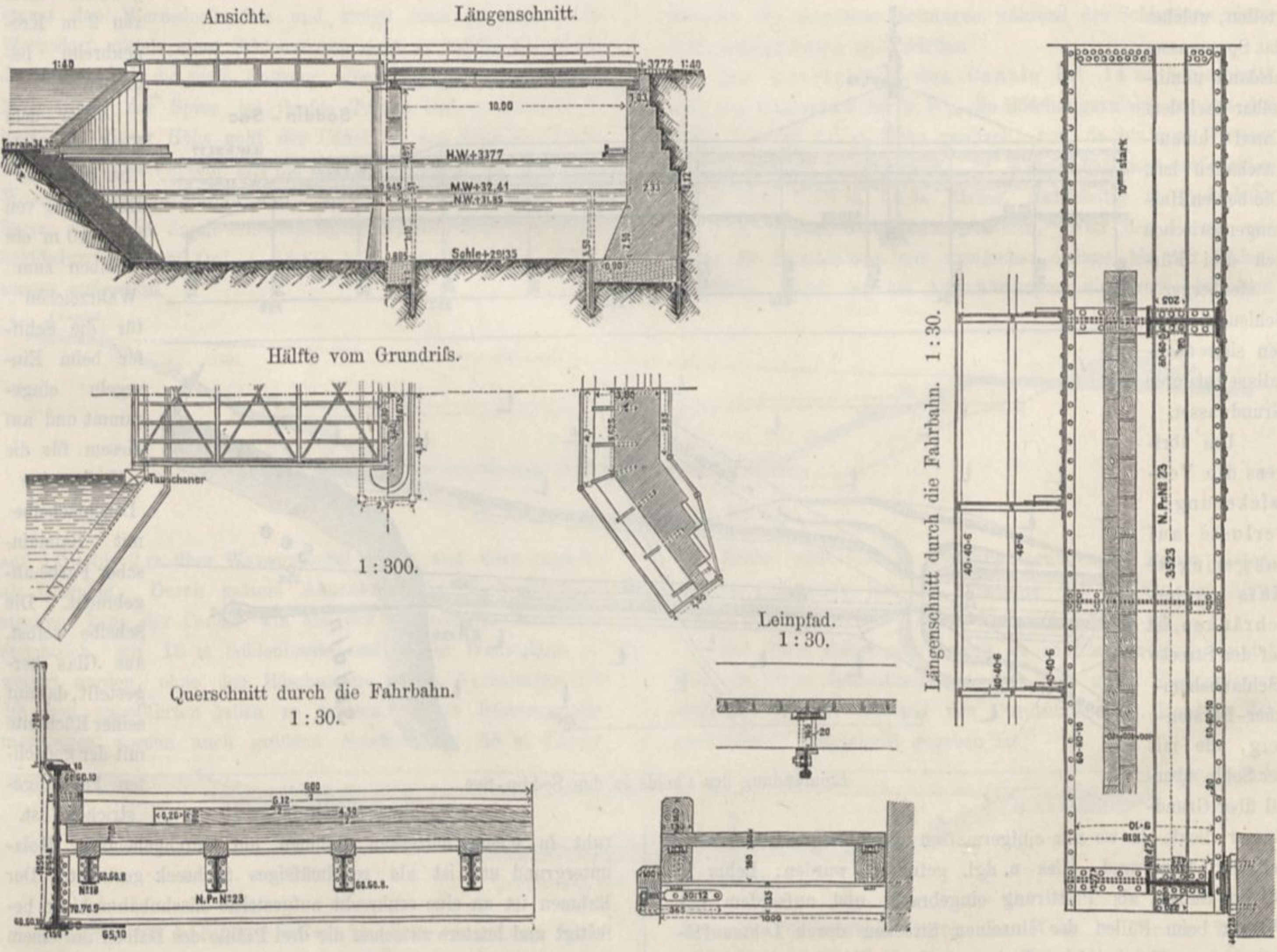
eingeschoben. Diese Art der Befestigung hat sich trotz der ziemlich bedeutenden freien Höhe durchaus bewährt. Die näheren Einzelheiten derselben sowie die Gesamtanordnung sind aus den nachstehenden Zeichnungen wohl ohne weiteres deutlich.



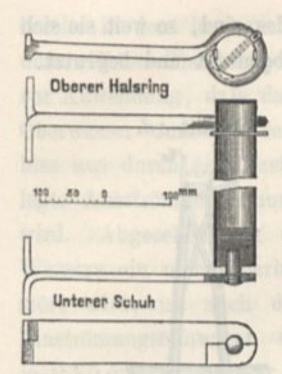
Dalben mit Leuchtbake im Seddin-See. 1:150.

Canalbrücken von 6 m Fahrbahnbreite.

Das erste Bauwerk, dem wir von dort aus auf der Canalstrecke begegnen, ist die den Weg von Gosen nach Schmöckwitz über den Canal führende Brücke, welche, da der Ausbau dieser Strafse über kurz oder lang als Chaussee ziemlich sicher sein dürfte, eine lichte Breite von 6 m zwischen den Hauptträgern erhalten hat. Diese Brücke, deren Gesamtanordnung zugleich für alle Brücken zur Ueberführung der Chausseen über den Canal als Muster gedient hat, ist nach den untenstehenden Zeichnungen in zwei Durchfahrtsöffnungen von je 10 m lichter Weite mit einem Mittelpfeiler in Mauersteinen und Cementmörtel auf Betongründung zwischen Spundwänden erbaut, und von eisernem Oberbau mit doppeltem Bohlenbelag überdeckt. Da der Grundwasserstand hier sehr hoch war, mufsten die Spundwände zum Einschliefsen der Pfeiler bis über Mittelwasser hinausgeführt und später mit der Grundsäge abgeschnitten werden. Die Pfeiler haben sämtlich bis zur N.W.-Höhe Böschung nach dem Canal hin, und zwar die Landpfeiler 1:5, der Mittelpfeiler nur 1:10. Um die Widerstände des Wassers beim Durchfahren zu verkleinern und gleichzeitig auch aus Ersparnifsrücksichten ist der Mittelpfeiler mit einer Oeffnung von 2,35 m Länge durchbrochen und letztere dann oben mit einem Halbkreisbogen geschlossen. Der Leinpfad ist unter der Brücke in 1 m Breite über H.W. auf ausgekragten Eisenbahnschienen, die mit Bohlen überdeckt und mit einem Streichbalken versehen sind, auf jeder Seite hindurchgeführt.



Brücke im Zuge des Weges von Gosen nach Schmöckwitz.



Zum Schutz der Zugleinen einerseits, sowie der Mauerwerksecken anderseits sind an den vier Schnittlinien der Flügel mit den Stirnmauern an den Landpfeilern Tau-Schoner von nebengezeichneter Form angebracht, deren nähere Beschreibung bereits im Wochenblatt für Architekten und Ingenieure 1880 S. 317 von dem Verfasser erfolgt ist.

Die Hauptlängsträger, als volle Blechträger ausgeführt, sind durch je zwei End- und zwei Mittelquerträger aus I-Eisen mit einander verbunden; zwischen diese sind dann die secundären Längsträger, ebenfalls I-Eisen, zwischen genietet. Gegen Winddruck sind Horizontalverstrebungen aus Flacheisen angebracht. Auf den secundären Längsträgern liegen Unterlagshölzer mit ihnen verschraubt, und hierauf ist der doppelte Bohlenbelag von 8 cm Stärke aufgenagelt. Der untere Bohlenbelag geht in der ganzen Brückenbreite durch und ist mit 1 cm weiten Fugen verlegt, während der obere nur 4,50 m breit und ganz dicht gefertigt ist. Zwischen der Oberkante des unteren Bohlenbelags und der oberen Gurtungsplatte der Blechträger sind Längshölzer, zugleich als Radabweiser dienend, eingelegt. Einfache Geländer aus Eck- und Flacheisen, auf den Blechträgern angebracht, dienen als Schutz für die Verkehrenden.

Die Auflager auf dem Mittelpfeiler sind fest, die auf den Landpfeilern beweglich als Gleitlager eingerichtet; die Platten ruhen überall auf Granitwerkstücken. Ebenso sind die Rampen, die eine Breite von 5 bis 7 m, eine Neigung von 1 : 40 haben und mit Kalksteingrutz in 15 cm Stärke befestigt sind, gegen die Brücke hin durch Granitschwellen in Höhe der Oberkante des oberen Bohlenbelags abgeschlossen. Die Flügel sind in Mauersteinen abgerollt und haben nur Anfänge und Abschlüsse von Werkstein erhalten. Ebenso ist der Mittelpfeiler an seinen Enden mit Werksteinen abgedeckt, während in der Mitte Rollschichten angebracht sind.

Sämtliches Mauerwerk ist in Cementmörtel von 1 : 3 aus Klinkern von der Ziegelei Stutgarten bei Storkow, die auch zu allen übrigen Bauten am Canal Verwendung gefunden haben, aufgeführt. Die Granitwerksteine sind hier wie bei allen anderen Canal-Bauwerken aus Harzburg von H. Bosse geliefert, die Eisenarbeiten von R. A. Wens u. Cie. aus Berlin ausgeführt. Alle Maurerarbeiten an den Bauwerken waren dem Unternehmer H. Spiefs aus Fürstenberg übertragen.

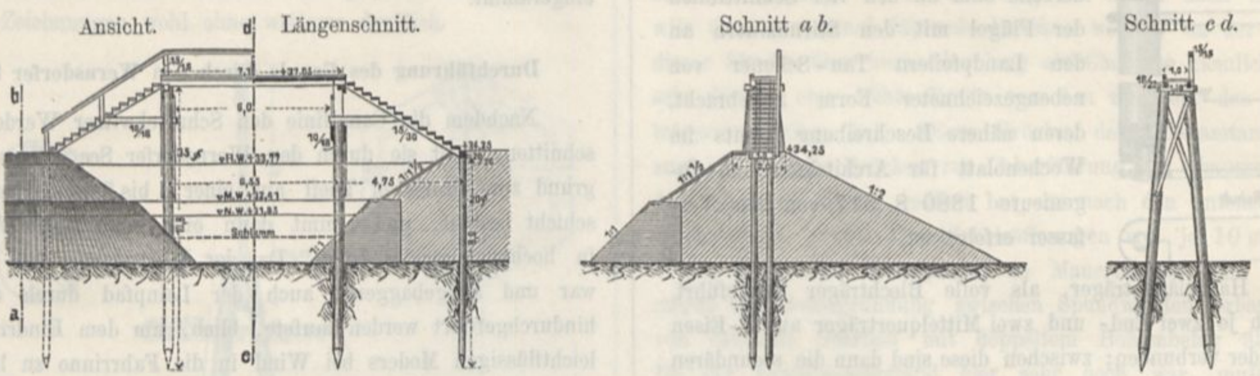
Zum Schutz der Schiffe beim Durchfahren der Brücke sind etwa 13 m von der Mittellinie derselben entfernt vor dem Mittelpfeiler auf jeder Seite ein Dalben, vor den Flügeln der Landpfeiler je zwei mit einander verholmte und verbolzte Leitpfähle eingerammt.

Durchführung des Canals durch den Wernsdorfer See.

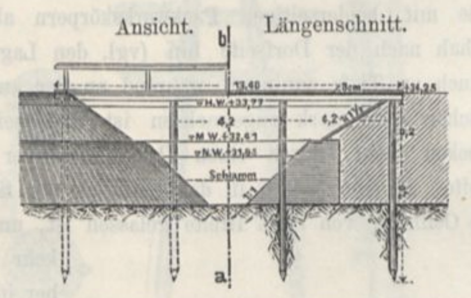
Nachdem die Canallinie den Schmöckwitzer Werder durchschnitten, geht sie durch den Wernsdorfer See, dessen Untergrund zum gröfseren Theil aus einer 1 bis 5 m starken Moderschicht besteht, und kommt dann erst beim Dorfe Wernsdorf in hochansteigendes Ufer. Da der Wernsdorfer See zu flach war und ausgebaggert, auch der Leinpfad durch denselben hindurchgeführt werden mufste, blieb, um dem Eindringen des leichtflüssigen Moders bei Wind in die Fahrrinne zu begegnen, sowie um diese den Schiffen gehörig kenntlich zu machen, nur übrig, sie mit beiderseitigen Packwerkskörpern abzugrenzen. Dies geschah nach der Dorfseite hin (vgl. den Lageplan), wo der See auch an Tiefe zunimmt, während an der anderen Seite derselbe schon sehr stark zugewachsen ist und meist nur Fischereizwecken dient, durch einen Packwerkskörper von 1 m Kronenbreite, in dem jedoch in der Mitte an der tiefsten Seestelle eine Oeffnung von 70 m Breite gelassen ist, um den Verkehr vom Dorfe her in den Canal mit Schiffen zu ermöglichen. — Diese Rücksicht mufste genommen werden, da das Dorf Wernsdorf einer nicht unbedeutenden Anzahl von Schiffern zum Wohnorte dient, deren Schiffe zum gröfsten Theil im Wernsdorfer See an der Dorflage überwintern. Die Herstellung eines Leinpfades auf dieser Seite wurde der Kosten halber unterlassen; das Bauwerk ist hier durchweg als Mole behandelt, mit einer Spreutlage abgedeckt und mit Kalksteingrutz gegen den Wellenschlag geschützt. In der Schiffsöffnung sind Sinkstücke bis zur Höhe der Moderschicht eingelegt, um das Eintreiben derselben in die Fahrrinne auch hier zu verhüten. Auf der dem Dorfe abgekehrten Seite dagegen ist der Leinpfad völlig wasserfrei durch den See hindurchgeführt und sämtliche Oeffnungen in demselben, die zum Zwecke theils der Schiffahrt, theils der Fischerei angelegt werden mufsten, überbrückt. Der Leinpfad ist durch eine Erdschüttung hinter einem Packwerkskörper hergestellt, und aus den umstehenden Zeichnungen ist der Querschnitt dieses sowie die Umführung desselben um die Oeffnungen und die Construction der Ueberbrückung der letzteren leicht ersichtlich. Die drei oberen Abbildungen zeigen eine Leinpfadbrücke über eine Oeffnung zum Durchfahren mit gröfseren Fahrzeugen nach Finowcanalmafs, bei der die Unterkante der Construction deshalb 3 m über Hochwasser gelegt ist und die daher mit Zugangstreppen vom Leinpfad aus versehen werden mufste, während die beiden unteren Abbildungen eine

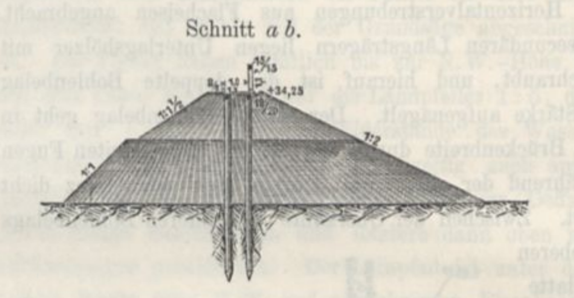
Durchführung des Canals durch den Wernsdorfer See.

solche für Fischerkähne darstellen. Hier liegt natürlich die Oberkante des Bohlenbelags in Höhe der Leinpfadkrone, d. h. 0,48 m über H.W. Die Böschungen des Leinpfades sind, so weit sie sich über N.W. befinden, mit Spreutlagen abgedeckt und begrutzt.



Leinpfadbrücke an der Durchführung des Canals durch den Wernsdorfer See (6 m lang).





Leinpfadbrücke an der Durchführung des Canals durch den Wernsdorfer See (4 m lang).

Schleuse bei Wernsdorf.

Allgemeine Anordnung.

Unmittelbar am Austritt des Canals aus dem Wernsdorfer See hebt sich das Gelände ziemlich steil um etwa 6 m, um dann in fast gleicher Höhe bis in die Nähe der Spree bei Grofse Tränke, wo der Canal einen Höhenrücken durchsetzt, fortzugehen. Es erschien daher zweckmäfsig, hier sogleich den Höhenunterschied zwischen der Dahme am Seddin-See und der Spree bei Grofse Tränke bei Normalwasser, d. h. von Ord. + 31,85 bis Ord. + 36,80, durch eine Schleusenanlage zu überwinden, umsomehr, da auch der niedrig gelegene Seestrand hierselbst die Anlage eines geräumigen Vorhafens ohne grofse Kosten gestattete.

Abweichend von den bisher üblichen Annahmen bezüglich der Gröfse des durch eine Schleuse zu überwindenden Gefälles wurde trotz der gröfseren Thorbreiten hier der Versuch gemacht, nur mit einer Schleuse aufzusteigen und derselben ein Gefälle von 4,95 m zu geben, woraus sich von selbst eigenartige Anordnungen bezüglich der Thore, Umläufe und Bewegungsvorrichtungen für diese ergaben. Ebenso erschien es hierbei zweckentsprechend, oberhalb des oberen Schleusenhafens den Canal zur gröfseren Sicherung der Schiffahrt bei etwa eintretenden Unglücksfällen noch einmal durch eine Sicherheitsthor-Anlage abzusperren und deren Bedienung durch Wasserkraft geradeswegs von der Schleuse aus zu bewirken, d. h. also ohne Menschenkräfte den ganzen Betrieb der Schleuse und des Sicherheitsthores in einem Punkte auf der Schleusenebene zu vereinigen, und hiernach die maschinellen Einrichtungen zu treffen. Das vorhandene Gefälle in der Schleuse sowie die zur Verfügung stehende Wassermenge der Spree legten es dann wiederum nahe, den ganzen Betrieb mit einer Turbinenanlage einzurichten, und zwar der gröfseren Entfernungen der einzelnen zu bewegenden Theile halber nicht unmittelbar, sondern durch Wasserdruckmaschinen, deren Speisung einer Pumpenanlage obliegt, die durch die Turbine in Bewegung gesetzt wird.

Zum weiteren bedingte das hohe Schleusengefälle bei der angenommenen Lichtweite der Häupter von 8,6 m die Anordnung von eisernen Thoren, um die Kosten möglichst herabzumindern und die Thore für den Betrieb möglichst leicht zu machen am Unterhaupt, während am Oberhaupt, ebenfalls aus Ersparnifsrücksichten, zum ersten Mal in Europa die americanischen Drehthore (Tumble Gates) zur Anwendung gebracht wurden, da bei der geringen Wassertiefe über dem Drempel von 2,50 m die Anwendung dieser Thore weniger Länge des Oberhauptes bedingte als eine Stemmthoranordnung. Die Stemmthore hätten eine Länge der Thorkammer von 5,01 m erfordert, während die Drehthore nur 3,68 m nöthig machen.

Zur Herabminderung der Schleusungsdauer mufsten aufserdem die Füll- bezw. Entleerungszeiten auf das zulässig geringste Mafs herabgesetzt werden, woraus wieder einmal die Herstellung möglichst grofser Schützöffnungen, zum andern Vorrichtungen zum schnellen Oeffnen derselben als Nothwendigkeit hervorgingen. Das erstere bedingte Maschinenbetrieb, das andere die Anwendung von Klappschützen.

Wenn nun auch die Gröfse der Umläufe und der Klappschütze im Unterhaupt bezüglich der Geschwindigkeit der Ausströmung des Wassers wohl keiner Einschränkung unterlag, so war es doch bei der Füllung der Schleuse durchaus nothwendig, diese zwar möglichst rasch, jedoch mit möglichster Vermeidung von Wirbeln, Strudeln und harten Strömungen vorzunehmen. Es durfte also die Einführung des Füllwassers in die Schleusenkammer nicht in der gewöhnlichen Art durch Umläufe geschehen, sondern es mufsten Anordnungen zur Anwendung kommen, die den oben erwähnten Uebelständen gehörig vorbeugen, also möglichst grofse Ausströmungsöffnungen und dadurch verringerte Geschwindigkeiten geschaffen werden. Das Vorbild hierzu war

bereits in den in America unter den Drehthoren angewendeten unterwölbten Oberdrempeln gegeben und kam auch hier derart zur Anwendung, dafs das durch vier Klappschütze einströmende Oberwasser zunächst senkrecht im Oberhaupt abfällt und von hier aus durch eine fast in der ganzen Schleusenbreite angelegte Ausströmungsöffnung der Kammer zur Füllung zugeführt wird. Abgesehen nun davon, dafs schon bei dem Einfall des Wassers ein nicht unerheblicher Theil der lebendigen Kraft zerstört wird, ist auch das Verhältnifs der Gröfse der directen Einströmungsöffnungen des Oberwassers (vier Klappschütze zu je 0,75 qm) zu der der Einströmungsöffnung nach der Schleusenkammer = 1 : 5,5 angenommen, sodafs das Wasser nur mit einer verhältnifsmäfsig geringen Geschwindigkeit in die Schleuse und zwar — ein hierbei nicht zu unterschätzender Vortheil — parallel zur Schleusenachse tritt, demnach also alles seitliche Schwanken der Schiffe, welches Umläufe bei Einführung des Wassers immer hervorrufen, vermieden wird. Die Bewegung des Schiffes kann daher nur eine geradlinige, und zwar eine in der Schleusenachse liegende sein. Thatsächlich sind diese Voraussetzungen auch vollständig eingetroffen und die Schiffe liegen, wenn auch noch so nahe der Einströmungsöffnung, völlig sicher und ruhig.

Der nebenstehende Lageplan veranschaulicht die Lage der Schleuse mit den dazu gehörigen Gebäuden sowie des Sicherheitsthors und der zu diesem führenden Druckwasserleitung.

Im allgemeinen dürfte folgendes über sämtliche Schleusenanlagen zu erwähnen sein.

Lageplan der Schleuse bei Wernsdorf und des Sicherheitsthores.

Schleusen-Abmessungen.

Die jetzt erbauten Schleusen haben sämtlich mit Ausnahme der Fürstenwalder Schleuse, die aus später zu entwickelnden Gründen gröfser angelegt ist, eine nutzbare Kammerlänge von 55 m, eine Breite von 8,60 m in den Häuptern, von 9,60 m in den Kammern und eine Wassertiefe von 2,5 m über dem Drempel, wogegen bei stärkerer Verkehrsentwicklung angenommen ist, den dann noch zu erbauenden Parallelschleusen eine nutzbare Kammerlänge von 67 m bei im übrigen gleichen Abmessungen zu geben. Auf den Lageplänen sind diese bereits in punktirten Linien angegeben, ebenso die alsdann vorzunehmende Erweiterung der Vorhäfen. Hierin ist auch der Grund für die seitliche und unsymmetrische Lage der jetzigen Schleusen und der Vorhäfen gegen die Canalmittellinie zu suchen.

Ferner ist als Grundsatz durchgeführt, überall da, wo 3 m als Schleusengefälle nicht überschritten werden, hölzerne Thore anzuwenden, bei gröfseren Gefällehöhen dagegen eiserne, und endlich bei mehr als 2 m Gefälle die Oberthore als Drehthore, darunter aber als Stemmthore zu construiren. Ebenso ist die Bedienung der einzelnen beweglichen Schleusentheile nur da mit Maschinenkraft vorgesehen, wo das Schleusengefälle 3 m übersteigt, darunter überall Bewegung durch Menschenhand angenommen.

Schleusenmeistergehöft.

Bei jeder Schleuse ist ferner ein Gehöft für den Schleusenmeister, bestehend aus Wohnhaus und Stallgebäude, sowie ein Schuppen zur Aufbewahrung der Dammbalken und endlich ein Häuschen für die zur Bedienung der Schleuse erforderlichen Schleusenknechte angeordnet.

Das Schleusenmeisterwohngebäude ist massiv in Rohbau erbaut, ganz unterkellert, mit einem ausgebauten Drempelgeschofs versehen, ein Stock hoch und mit Schieferdach auf doppelt stehendem Dachstuhl überdeckt. Das Kellergeschofs enthält drei Kellerräume für den Stelleninhaber, die ihren Zugang vom Hausflur aus haben, sowie zwei Lagerräume für die Verwaltung zur Aufbewahrung von Oel, Petroleum und sonstigen Geräthen und Materialien und ist durchweg mit Kappengewölben überspannt. Der Verwaltungskeller ist durch einen besonderen Kellerhals von aufsen zugänglich gemacht. — Das Erdgeschofs enthält drei Wohnräume, eine Küche und Hausflur, während im Dachgeschofs noch ein Commissionszimmer eingerichtet ist.

Das Stallgebäude, ebenfalls massiv, ein Stock hoch und mit Drempel erbaut, enthält Holz-, Kuh-, Schwein- und Hühnerstall, sowie einen einsitzigen Abort mit auscementirter Grube. Der Dachraum ist zum Heugelafs eingerichtet und mit Schieferdach auf einfach stehendem Stuhl überdeckt.

Der Schuppen zur Aufbewahrung der Dammbalken ist auf massiven Fundamentpfeilern in weitläufigem Fachwerk abgebunden, mit Brettern bekleidet und mit einem Pultdach in Pappe überdeckt. Der Zugang ist durch zwei Schiebethüren in den beiden Giebeln gebildet und zur Erzeugung von Luftzug sind Fensteröffnungen mit jalousieartig eingesetzten Schutzbrettchen in der Vorderfront angebracht.

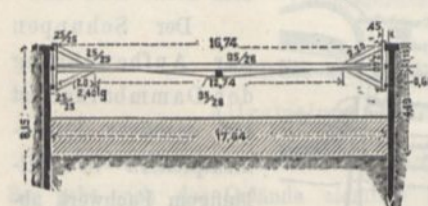
Das Häuschen für die Schleusenknechte ist massiv in Rohbau einstöckig und mit doppelseitigem Pappdach auf einfach stehenden Stuhl erbaut. Es gewährt genügenden Raum zur Aufstellung von Bettstellen sowie eines Tisches usw. für die Bedienungsmannschaften und ist durch einen Ofen heizbar gemacht.

Bauart der Schleuse.

Die Schleuse selbst ist übereinstimmend mit allen übrigen Schleusen des Oder-Spree-Canals auf Beton zwischen Spundwänden gegründet und im Rohbaumauerwerk aus Klinkern in Cementmörtel erbaut. Die Ecken sowie die Drempel und die Wendenischen sind aus Granit hergestellt, die Schleusenmauern durch Klinkerrollschichten abgedeckt, die nur an den Ecken und Nischen für die Steigeleitern usw. durch Granitplatten ersetzt sind. Wo keine Einfassung der Ecken und Nischen durch Werksteine erfolgt ist, sind diese mit Scholwiner Eisenklinkern gerändert, was dem Bauwerk durch den Tonunterschied zwischen den schwarzblauen Eisenklinkern und den gelben Verblendklinkern, die sonst das Material der Schleuse bilden, einen recht lebendigen Anstrich giebt.

Die Anordnung des ganzen Bauwerks ist aus Abb. 7 bis 13 auf Blatt 57 ersichtlich.

Was seine Gründung betrifft, so bestand der Untergrund hier unter den oberen Sandschichten aus theils blauem Thon, mit sehr vielen und grofsen Steinen besetzt, theils, wie sich nachher erwies, aus zwischen den einzelnen Thonschichten lagernden, nur wenig starken wasserführenden Schluffschichten. Bei den Bohrungen konnte von diesen Schichten leider nichts bemerkt werden, ebenso entzogen sich die im Thon lagernden Steine der näheren Beachtung. Da auch der Thon anscheinend wenig fest war, wurde eine Einfassung des Betonbettes mit Spundwänden und demnächstige Betonirung unter Wasser in Aussicht genommen und mit dem Einrammen der Spundwände vorgegangen. Hierbei ergaben sich jedoch durch die vorhandenen Steine sowie durch die ganz verschiedenartige Festigkeit des Schluffs recht bedeutende Hindernisse, und es kam oft vor, dafs nach Aufstauchen der Pfähle um diese ganze Kasten aufserhalb herumgeschlagen werden mufsten. Die Rammarbeiten erforderten fast doppelt so viel Zeit- und Geldaufwand als bei der kurz vor dieser Schleuse begonnenen Schleuse bei Grofse Tränke. Endlich nach langen Wochen waren die Rammarbeiten beendet und es konnte mit dem Aushub der Schleusenbaugrube zwischen den Spundwänden begonnen werden. Der Rammboden (also etwa Oberkante Spundwand) lag auf Ord. + 32,40, es blieben also noch bis zur Betonsohle auszuheben etwa 5 m. Nachdem der Aushub bis auf 1,50 m unter Oberkante Spundwand vorgeschritten war, wurden die Aussteifungen nach beistehender Zeichnung eingebracht und zwar in je 4,95 m eine Steife.



Diese Steifen wurden nach der Längsrichtung hin gegen einander noch durch eingelegte Hölzer abgesteift und auch der Erddruck gegen die beiden Querspundwände vor den Häuptern wurde durch diese noch abgefangen. Aufserdem waren die Steifhölzer, wie aus der Zeichnung ersichtlich, durch Eisen verstärkt.

Der Aushub der Schleusengrube wurde bei Wasserhaltung im Trocknen vorgenommen und das Erdmaterial durch Kipplowrys herausgeschafft. Nachdem ziemlich die ganze Arbeit vollendet war, fand leider am 28. Januar 1888 in der Abendstunde ein Gleiten der oberen Thonschicht auf der unteren an der linken Längsspundwand nahe dem Oberhaupte statt, und die hierdurch entstandene Bewegung war so stark, dafs die Spundwände trotz ihrer Stärke von 20 cm in Höhe der Baugrubensohle förmlich abgeschnitten und nach innen gedrängt wurden. Die Steifen, die dadurch natürlich ihre Spannung verloren, fielen herunter und die gegenüberliegende Spundwand wurde ebenfalls in die Baugrube hineingedrückt. Die hierbei in die letztere gelangten Erdmassen betrugen etwa 200 cbm. Es blieb nun nur übrig, an den beiden Längsspundwänden die Erde bis zur Unterkante Beton abzugraben, die Böschungen durch Bekreuzung mit starken Faschinenwürsten zu befestigen, die Drängewasser nach dem Gelände unterhalb der Schleuse, woselbst eine Dampfpumpe aufgestellt war, abzuleiten, so die gleitende Schicht trocken zu legen und nunmehr die Betonirung im Trocknen, d. h. bei diesem gesenkten Wasserspiegel, auf der festen Schluffschicht vorzunehmen, was auch ohne besondere Schwierigkeiten glückte. Die umgeknickten Spundwände wurden, soweit sie nicht abgeschert waren, in Höhe der Betonoberkante abgeschnitten, diejenigen Stellen aber, an denen ein Abscheren derselben stattgefunden hatte, bis zu der vorgedachten Höhe behufs Einbringung des Betons mit wagerecht gelegten Brettern gegen das dahinter liegende Erdreich abgegrenzt. Es gelang, den Beton vollständig fest und ohne Quellen herzustellen; nur eine Quelle im Oberhaupt mufste nach aufsen durch die Spundwand abgeleitet werden, was auch ohne grofse Mühe geschehen konnte. Sobald der Beton gehörig abgebunden hatte, was nach etwa acht Tagen eingetreten war, wurde das Wasser nur noch bis 30 cm unter Oberkante Beton gehalten und mit den Maurerarbeiten begonnen. Die Stärke des Betonbettes, die dem Entwurfe gemäfs auf 2 m in der Mitte, 1,50 m an den Spundwänden angenommen war, wurde, um tiefere Aushebungen möglichst zu vermeiden, je nach dem Stande der Aushubarbeiten vor dem Zusammenbrechen der Spundwände entsprechend vermindert, und dies konnte um so sicherer geschehen, als, wie schon erwähnt, die Betonsohle durchweg in festem blauen Schluff lag. Die einzelnen Stärken sind aus den Querschnitten ersichtlich. Die Abgleichung des Betons in der Schleusenkammer erfolgte durch eine in Cement gelegte Klinkerflachschicht, während in den Häuptern und Thorkammern stärkere Uebermauerungen stattfanden.

Es dürfte nun zur Verdeutlichung der Zeichnungen wohl genügen, nur noch einige Worte über die Gestaltung und Ausführung der Umläufe und kleineren Anlagen hinzuzufügen, um dann zur näheren Beschreibung der beweglichen Schleusentheile überzugehen.

Das Oberhaupt ist, wie die Abb. 7 bis 9 auf Blatt 57 zeigen, unterwölbt und der dadurch unter demselben entstehende Hohlraum von 7,78 m Breite, 1,62 m Kämpfer- und 2,40 m Scheitelhöhe zur Wassereinführung in die Kammer benutzt. In die eigentliche Thorkammer ist vertieft ein hölzerner Rahmen eingesetzt und durch Schraubenbolzen mit dem Mauerwerk verankert, in welchem vier Klappschütze von den gewöhnlichen Abmessungen, wie solche in den Schleusenthoren angebracht werden (vgl. Stauanlage in der Spree bei Charlottenburg, Zeitschrift für Bauwesen Jahrgang 1886), eingelassen sind. Durch diese fällt nach Aufrichten des Klappthores das Wasser senkrecht in den Schacht, der mit hochkantigem Klinkerpflaster in Cement abgerollt ist, und tritt dann durch die vorhin beschriebene Bogenöffnung in die Kammer.

Im Unterhaupt dagegen sind überwölbte Umläufe angelegt, die eine Einströmungsöffnung von 1,20 m Breite bei 1,535 m Kämpferhöhe und Halbkreisbogen und eine Ausströmungsöffnung von 2,20 m Breite bei derselben Höhe und Ueberwölbung haben. Dieselben sind etwa in der Mitte durch eingelegte Klappschütze von 1,10 m lichter Breite und 1,50 m Höhe abgeschlossen und erweitern sich trompetenartig nach dem Unterwasser zu hinter dieser Einschnürung, während der vor derselben befindliche Theil die Anfangsbreite von 1,20 m beibehält und mit einem Ringgewölbe überdeckt ist. Abb. 8 und 13 auf Blatt 57 zeigen im Grundrifs und Durchschnitt diese Anordnung. Um ohne Trockenlegung der Schleuse Ausbesserungen an den Klappschützen bezw. deren Bewegungsvorrichtungen vornehmen zu können, sind vor und hinter denselben Schächte zum Einsetzen von Nothschützen angelegt, während die Oeffnung über den Klappschützen mit einem Einsteigeschacht versehen ist.

Alle in der Schleusenmauer belegenen Schächte sind mit Eisenplatten in Winkeleisenrahmen abgedeckt. Die Anlage der Dammbalkenfalze, Schiffshalter und der Haltekästen sowie der

Steigeleitern ist ebenfalls aus den angeführten Zeichnungen ersichtlich. Von den letzteren hat jede Schleuse drei Stück erhalten, von denen zwei auf einer Seite nahe den Häuptern, die dritte in der Mitte auf der andern Seite sich befinden. Dammfalzen im Ober- und Unterhaupt ermöglichen das Trockenlegen der ganzen Schleuse sowie einzelner Theile derselben.

In den Seitenmauern der Schleuse ist rechtsseitig ein eiförmiger Canal von 0,75 m Breite und 1 m Höhe, linksseitig ein solcher rund mit 0,70 m Durchmesser angelegt, von denen der erstere zum Ablassen des Wassers bei Entleerung der oberen Haltung, der letztere zur Speisung der Turbine dient. Der erstere ist durch ein Schütz mit Hebelschwingenbetrieb abschliefsbar, während der letztere in seiner Ueberführung in das eiserne Zuflufsrohr der Turbine einen Abschlufs durch Drosselklappe erhalten hat. Ein Zweigrohr, welches mit diesem Zuführungsrohr in Stutzenform zusammenhängt, ermöglicht auch die Mitbenutzung dieses Canals zum Entleeren der oberen Haltung.

Anschlufs der Schleuse an die freie Strecke.

Am Oberhaupt ist der Canal durch einfache Packwerke an die Schleuse angeschlossen, während am Unterhaupt gegen eingerammte verankerte und in N. W. verholmte Spundwände (vgl. Blatt 60 Abb. 1) eine Abpflasterung der Böschungen in 1 Stein-Stärke in Klinkern und Cementmörtel stattgefunden hat, und erst im Anschlufs hieran Packwerk gelegt ist. Hölzerne Leitwerke sind sowohl vor dem Unterhaupt als auch vor dem Oberhaupt, wie aus der Zeichnung zu ersehen, angebracht.

Die Canalsohle vor dem Unterhaupt ist durch 1 m starkes, mit Steinen belastetes Packwerk auf etwa 30 m Länge gegen Ausspülungen gesichert, vor dem Oberhaupt sind nur einige Senkfaschinen gelegt.

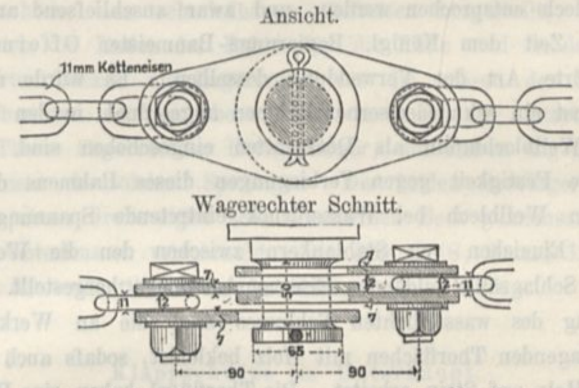
Ueber dem Unterhaupt der Schleuse ist der Weg von Neu-Zittau nach Wernsdorf mittels einer eisernen Brücke mit hölzernem Bohlenbelag übergeführt, und zwar in der Bauweise der früher beschriebenen Schmöckwitzer Brücke, jedoch in 4,50 m lichter Breite.

Oberthor nebst Einlafsschützen.

Die Anordnung des Oberthores als Klappthor nebst den Schützen zur Wassereinführung ist auf Blatt 57 in Abb. 14 bis 21 dargestellt. Das Thor, 9 m breit, 3,27 m einschliefslich Wendesäule und Oberrahm hoch, besteht aus Wendesäule und Oberrahm und dazwischen eingesetzten acht senkrechten Pfosten, welche die ersteren zu einem Gerüst verbinden. Die Hölzer sind mit einander verzapft und die Verbindung aufserdem noch durch übergelegte Winkel- bezw. Eckbänder befestigt. Auf beiden Seiten sitzt in den Zwischenräumen zwischen den senkrechten Anschlagssäulen eine Verschalung von 6,5 cm starken Bohlen, alles aus Kiefernholz hergestellt, gespundet und in Theer gedichtet. Die Zwischenräume zwischen den beiden Bekleidungen sind soweit mit Steinschotter gefüllt, dafs der Auftrieb des Thores überwunden ist und dasselbe ein klein wenig Uebergewicht zum Herabsinken hat. Bei dem Aufwärtsbewegen des Thores ist daher nur dieser kleine Lastüberschufs zu überwinden, während das Herabsinken fast ohne Kraftausübung erfolgen kann.

Die Wendenische ist in Granitwerksteinen hergestellt und die Lager für die Bewegung sind soweit excentrisch gelegt, dafs ein völliges Freidrehen derselben wie bei Stemmthoren erzielt wird.

Auf dem Oberrahm des Thores ist ein mit einseitigem Handgeländer versehener Steg angelegt, um den Uebergang über dasselbe zu erleichtern. Abb. 14 bis 17 auf Blatt 57 veranschaulichen die ganze Anordnung. Die Bewegung des Thores erfolgt durch zwei Handwinden, die zu jeder Seite desselben aufgestellt sind und um deren Trommeln sich eine Kette ohne Ende legt, die auf beiden Enden fest mit einem Zapfen a am Oberrahm des Thores verbunden ist. Von hier aus läuft dieselbe über eine am Boden der Thorkammer angebrachte Rolle b nach der Windetrommel c und von dort über eine solche in der Höhe des aufgerichteten Thores liegende Rolle d wieder nach den Zapfen zurück. Um die Kette stets gespannt zu erhalten, ist die Vorrichtung e zwischen der Rolle b und der Trommel c eingeschaltet. Dieselbe besteht aus einem um einen im Mauerwerk befestigten Bolzen drehbaren Eisenarm, der am Ende mit einem verschiebbaren Gegengewicht versehen ist und in der Mitte eine Rolle hat, über welche die Kette zur Bewegung des Thores hinweg läuft. Das Gegengewicht mufs nunmehr stets der Kette durch das Andrücken der Rolle an dieselbe die nöthige Spannung geben. Abb. 17 läfst die Anordnung deutlich erkennen. Das untere Lager, in welchem sich der Thorzapfen bewegt, ist in Abb. 18 und 19, der Thorzapfen mit dem Schuh in Abb. 20 und 21 auf Blatt 57 dargestellt.



Angriff der Ketten zur Bewegung des Oberthores.

Die Befestigung der Kette an dem Angriffszapfen ist mittels einer Schelle erfolgt, deren Anordnung die vorstehende Zeichnung erläutert. Die Bohrung der einzelnen Blechlamellen ist so grofs, dafs die letzteren über den 65 mm starken Zapfenbund gestreift werden können. Durch diese Vorrichtung ist es ermöglicht, ohne Lösung des Zapfens jeder Zeit Ausbesserungen an der Kette vorzunehmen.

Die Lagerböcke für die Thorzapfen sind mittels Steinschrauben im Mauerwerk befestigt, die Lagerschalen sind von Rothgufs hergestellt. Der Schuh besteht aus Gufseisen und ist durch vier Schraubenbolzen mit der Wendesäule verbunden. Der Zapfen ist in den Schuh conisch eingesetzt und mit diesem verschraubt (vgl. Abb. 21 auf Blatt 57). Die Herstellung des wasserdichten Abschlusses geschieht durch Anschlagen von Holz auf Stein, und sind die Dichtungsflächen überall zum mindesten 10 cm breit genommen. Die Dichtung ist durchaus vollkommen geworden. Aus Abb. 14, 16 und 17 ist auch die Anordnung der Klappschütze sowie der zur Bewegung derselben angeordneten Hebel ersichtlich. Jedes Klappschütz hat seinen besonderen Hebel, und zwar liegen zwei auf der rechten, zwei auf der linken Seite der Schleuse. Jedes Schütz ist am Ende durch eine schrägliegende Lenkerstange a gefafst und steht

durch einen Winkelhebel β mit der senkrechten Triebstange γ in Verbindung, die in derselben Weise wie bei den Klappschützen in den Schleusenthoren durch einen Hebel auf- und niederbewegt wird. Zum Schutz dieser senkrechten Triebstangen sind Aussparungen im Mauerwerk vorgenommen, sodafs jede Beschädigung derselben durch durchgehende Schiffe ausgeschlossen ist. Die schrägliegenden Lenkerstangen sind bei dem Aus- und Einfahren der Schiffe durch das über denselben liegende Klappthor geschützt. Zur Auflagerung des Oberrahms im Thor bei niedergelegter Stellung sind Holzklötze f in der Thorkammer angebracht, und um das Ansaugen von Holz an Holz zu vermeiden, sind diese oben mit kleinen, etwas vorstehenden Flacheisenschienen versehen.

Die Winden zur Bewegung des Thores sind einfache Kettenwinden mit einmaliger Uebersetzung von 1 : 19 und Sperrrädern mit Einfallklinken. Die Rahmen der Schütze sind der längeren Dauer wegen aus americanischem Kiefernholz hergestellt.

Unterthor.

Das Unterthor ist auf Blatt 58 dargestellt. Wie schon erwähnt, erschien es wegen der bedeutenden Abmessungen desselben unter Berücksichtigung der Schwere der zu bewegenden Massen angezeigt, dasselbe aus Eisen herzustellen, und zwar aus Schmiedeeisen unter möglichster Gewichtseinschränkung. Dieser Aufgabe konnte am leichtesten durch Anwendung von Wellblech entsprochen werden, und zwar anschliefsend an die seiner Zeit dem Königl. Regierungs-Baumeister Offermann patentirte Art der Verwendung desselben. Es wurde daher zunächst ein schmiedeeiserner Rahmen angeordnet, in den bombirte Wellblechtafeln als Deckplatten eingeschoben sind. Die nöthige Festigkeit gegen Verbiegungen dieses Rahmens durch die im Wellblech bei Wasserdruck eintretende Spannung ist durch Einziehen von Stahlankern zwischen den die Wende- bezw. Schlagsäule bildenden Eisenconstructionen hergestellt. Zur Bildung des wasserdichten Schlusses sind die an Werkstein anschlagenden Thorflächen mit Holz bekleidet, sodafs auch hier stets Holz auf Stein arbeitet. Die Thorflügel haben eine Breite zwischen der Schlagsäule und dem Ende der Wendesäule (Stützwinkel) von 4,85 m, während ihre Höhe vom Unterrahm bis zum Oberrahm 8,03 m beträgt. Die Anbringung von Luftkästen zur Verminderung des Gewichts der Thore im Wasser ist vermieden und statt dieser sind, wie bei den Holzthoren, Abbalancirungseisen mit aufgesetzten Gegengewichten auf den überstehenden Armen derselben angewendet.

Die Bewegung der Thore geschieht für gewöhnlich durch Ketten, jedoch kann dieselbe auch bei etwaigem Versagen der Vorrichtung an den Gewichtsausgleichungseisen durch eingesteckte Drehbäume geschehen. Die Wendesäulen sind als Kastenträger angeordnet und finden ihre Stützpunkte bei geschlossenem Thor an den Wendenischen durch auf sie aufgeschraubte stählerne Stützwinkel, wie dies auch bei den hölzernen Thoren an den Charlottenburger Schleusen und ebenso bei denjenigen des Oder-Spree-Canals geschehen ist (vgl. Zeitschrift für Bauwesen Jahrgang 1886, Charlottenburger Stauanlage). Ebenso entsprechen die angewandten Thorzapfen, Unter- und Oberschuhe und Halseisen den an beregter Stelle erwähnten Anordnungen mit den durch die Verwendung des Eisens als Material des Thores bedingten Abänderungen und bedürfen wohl kaum hier weiterer Erläuterung, umsomehr, als Abb. 11 und 12 auf Blatt 58 die Anordnung des Oberschuhes, Abb. 13 und 14 desselben Blattes die des Unterschuhes mit Zapfen hinreichend deutlich erkennen lassen.

Der Rahmen des Thores ist nun wie folgt angeordnet: Zwischen den beiden als Blechträger in I-Form construirten Ober- und Untertramen, die zu der äufseren Begrenzung einen Kreisbogen haben, während die innere geradlinig ist, sind die Wende- und die Schlagsäule eingesetzt und bilden mit diesen einen Rahmen, dessen Aussteifung durch drei wagerecht in Entfernung von 1,95 m voneinander angebrachte Gurtungen, bestehend aus je zwei Winkeleisen, und durch zwei zwischengelegte Kreuze aus Flacheisen geschieht. Knotenbleche vermitteln den Anschlufs an die äufseren Umrahmungen. Aufserdem sind Wende- und Schlagsäule durch 15 Spannstangen von 30 bis 45 mm Durchmesser, die im unteren Theil des Thores in 380 mm Entfernung, im oberen dagegen 570 mm von Mitte zu Mitte liegen, verbunden. In senkrechter Richtung sind aufser der Wende- und Schlagsäule noch zwei I-Eisen zur Aussteifung des Thores zwischen Ober- und Untertramen eingezogen, gegen welche die bombirten Wellblechtafeln sich anlegen, aufserdem an denjenigen Stellen, wo die Klappschützrahmen im Thor sich befinden, also eine Durchscheidung der Wellbleche stattfinden mufs, weitere I-Eisen aufgenietet, gegen welche sich die übrig bleibenden Wellblechstücke mit Spannung einsetzen. Den oberen Abschlufsrahmen der Schützöffnung bilden zwei C-Eisen, die einestheils zur Anbringung des hölzernen Futterrahmens für die Klappschütze, anderntheils zum Ansatz für die darüberliegenden Wellblechtafeln dienen. Der untere Abschlufs wird durch den Untertramen selbst gebildet. Blatt 58 Abb. 1 bis 4 verdeutlichen diese Anordnung. Die Lenkstangen für die Schütze sind in Lagern (in Abb. 5 dargestellt) geführt und sonst in der bereits bekannten Weise ausgebildet. Die Wendesäule besteht aus einem Kastenträger, der aus vier Blechen und vier Winkeleisen derart zusammengesetzt ist, dafs zwei Winkeleisen im Innern des Kastens, zwei auf der Aufsenseite des Kastens liegen und so gleichzeitig den Raum zur Anbringung des Dichtungsholzes bilden. Abb. 3 und 4 sowie 13 und 15 auf Blatt 58 veranschaulichen diese Anordnung. Die Schlagsäule dagegen besteht aus einem U-Eisen, das auf der geschlossenen Seite durch Aufnietung von zwei Winkeleisen verstärkt ist. In die Oeffnung dieses U-Eisens ist die hölzerne Schlagsäule eingepafst und mit der unteren wagerechten Schlagschwelle ebenso wie die hölzerne Wendesäulenbekleidung verzapft. Abb. 3 und 4 und 16 und 17 auf Blatt 58 zeigen die gewählte Anordnung.

Es dürfte nun nur noch erübrigen, die Befestigung bezw. das Einbringen des die Deckung des Thores bildenden bombirten Wellblechs näher zu erläutern. Die einzelnen Wellblechtafeln, die nur in einer Höhe von 0,58 m hergestellt werden konnten, sind durch über die Stöfse übergelegte und wasserdicht angenietete Deckplatten in Form des unteren Theils der Welle zu einem ganzen verbunden, und mit den unteren und oberen Enden der dadurch hergestellten Gesamtplatte an den Unter- und Obertramen angenietet. Abb. 18 auf Blatt 58 zeigt dies am Untertramen. Es handelte sich nun darum, die scharfen Enden der einzelnen Wellen so einzufassen, dafs beim Einpressen derselben durch den Wasserdruck in die auf der Wende- und Schlagsäule zu dem Zweck angebrachten U-Eisen bezw. die innerhalb dieser verwendeten Dichtungsmaterialien jede schädliche Abnutzung der letzteren vermieden würde, d. h. also diese

Enden durch deren angebrachte Stahlgufsplatten zu einem ganzen zu verbinden und so die Pressung einer geraden senkrechten Fläche auf die U-Eisen bezw. die in diese eingebrachten Dichtungsmaterialien zu erzielen, dabei aber auch zugleich zwischen dieser Platte und den einzelnen Wellen eine völlige Dichtung herzustellen. Zu diesem Zwecke wurden zunächst nach der Form des Wellblechs in wagerechter Richtung ausgeschnittene Stahlgufsstücke in ungleichschenkliger Winkeleisenform gegossen, die Bleche hierauf eingepafst und zwischen sie und diese Gufsstücke Dichtungsmaterial, bestehend aus in Mennige getränkter Hanfeinlage, eingeschoben. Um die erforderliche Anpressung des Wellblechs in den einzelnen Wellen an diese Gufsstücke und dadurch die unbedingte Wasserdichtung herzustellen, sind passende Gufsstahlstücke von oben auf die Wellen aufgepafst und mit dem unteren Hauptgufsstück durch eingezogene Schraubenbolzen mit versenkten Köpfen fest verbunden. Hierdurch war also ein in seinem senkrechten Theile vollständig glatter Rahmen, der mit der Wellblechdecke gänzlich wasserdicht verbunden ist, wie Abb. 13 u. 18 auf Blatt 58 zeigen, geschaffen, und durfte nun nur noch ein wasserdichter Schlufs zwischen diesem Rahmen, der selbstverständlich den Bewegungen des Wellblechs bei Wasserdruck in wagerechter Richtung folgen mufste, und den zur Aufnahme desselben besimmten U-Eisen an der Wende- und Schlagsäule, hergestellt werden, was einfach durch Einbringung einer in Minium getränkten, über die ganze innere Weite des U-Eisens sich ausdehnenden Hanfflechte geschehen konnte, wie Abb. 16 auf Blatt 58 zeigt. Der Zweck ist in der Ausführung völlig erreicht und ein ganz aufserordentlich guter wasserdichter Schlufs des Thores sowohl in sich selbst, als gegen Drempel und Wendenischen (durch die Holzkleidung) gewonnen. Bei den Ausschnitten im Wellblechkörper an den Schützöffnungen ist ebenso verfahren, wie Abb. 19 auf Blatt 58 zeigt.

Um auch die durch das Durchführen der stählernen Spannstangen in der Wende- und Schlagsäule geschaffenen Oeffnungen wasserdicht abzuschliefsen und zugleich für die Muttern passende Anzugsflächen zu schaffen, sind hier ebenfalls Gufsstücke eingeschaltet, die auf den Eisenplatten der Säulen mit Einlagen von derartigen Hanfgeflechten ruhen (vgl. Abb. 15, 17 und 20 auf Blatt 58). Die Abmessungen der einzelnen Theile gehen aus den angeführten Zeichnungen hervor.

Bewegung der Unterthore.

Die Thore werden, wie schon erwähnt, durch Maschinenkraft bewegt, nämlich durch Ketten, die wie Abb. 1 auf Blatt 59 zeigt, einmal bei h in der Thornische (zum Oeffnen) an Haken, zum andern bei h_1 (zum Schliefsen) an dem Drempel in eben der Weise befestigt sind. Von diesen Punkten gehen dieselben über an den Thoren angebrachte Rollen und zwar:

A. zum Oeffnen von h (Abb. 1 auf Blatt 59) nach Rolle VIII (vgl. auch Abb. 1, 3 u. 10 auf Blatt 58) am Untertramen des Thores, von da durch das in das Thor eingefügte wasserdichte Rohr α (Abb. 1, 3 u. 4 auf Blatt 58) nach Rolle VII (Abb. 1 u. 2 auf Blatt 59 und Abb. 1 auf Blatt 58), dann nach Rolle VI, welche über der Drehachse des Thores angebracht ist (Abb. 1 und 2 auf Blatt 59 und Abb. 1, 6 u. 7 auf Blatt 58) und weiter über Rolle V, IVa, IV, III, II und I nach dem Punkte f am Druckcylinder o, wo sie wiederum befestigt ist (vgl. Abb. 1 und 2 Blatt 59);

B. zum Schliefsen von h_1 (Abb. 1 auf Blatt 59) nach Rolle 8 (vgl. auch Abb. 1, 3 u. 10 auf Blatt 58) am Untertramen des Thores, von da durch das Rohr β (Abb. 1, 3 u. 4 auf Blatt 58) nach Rolle 7 (Abb. 1 u. 2 auf Blatt 59 und Abb. 1 auf Blatt 58), dann nach Rolle 6 über der Drehachse des Thores (Abb. 1 und 2 auf Blatt 59 und Abb. 1, 6 u. 10 auf Blatt 58) und weiter über Rolle 5, 4, 3, 2, 1 nach dem Punkte f_1 am Druckcylinder S, wo sie wiederum befestigt ist (vgl. Abb. 1 u. 2 auf Blatt 59).

Bei der Bewegung der Kolben in den beiden Druckcylindern werden nunmehr die Ketten, da die Rollen I und III bezw. 1 und 3 an der Spitze der Kolben in einem diese verbindenden Schlitten sitzen, nach der einen oder andern Richtung hin angezogen bezw. nachgelassen, während durch die flaschenzugartige Anordnung der Rollen die nur geringe Bewegung der Kolben so vergröfsert wird, dafs die Länge des Kreisbogens, den derjenige Punkt des Thores bei der Bewegung beschreibt, an welchem die Kette durch dasselbe hindurchgeht, erreicht wird. Bei der später folgenden Beschreibung der Maschinen-Anlagen wird dies noch weiter erläutert werden.

Um den an dem Thor befestigen Kettenrollen die Möglichkeit zu gewähren, sich stets in die Richtung der ab- bezw. aufrollenden Kette, d. h. also in die jedesmalige Tangente des Kreisbogens der Thorbewegung zu stellen, sind diese um eine senkrechte Achse drehbar angeordnet, sodafs sie durch die Kette selbst in die erforderliche Lage hineinbewegt werden. Die Drehachsen, aus schmiedbarem Gufseisen hergestellt, bilden zugleich die Enden der Rohre für die Kette und in den erweiterten Backen die Lagerungen für die Achsen der Rollen und bewegen sich am oberen Ende in einem am Untertramen des Thores angebrachten Rothgufslager, am untern dagegen in je einem ebensolchen Spurlager. Die beiden Spurlager sind durch einen dreiarmigen schmiedeeisernen Bock gemeinsam mit dem Untertramen verschraubt. Die Abb. 4, 8, 9 und 10 auf Blatt 58 verdeutlichen die Anordnung.

Klappschütze im Unterhaupt.

Den Klappschützen in den Umläufen des Unterhauptes konnten, da Maschinenkraft dieselben bewegt, auch gröfsere Abmessungen gegeben werden, wodurch die Entleerungszeit für die Schleuse sich erheblich verringert.

Wie Abb. 3 u. 4 auf Blatt 59 zeigen, haben die Klappschütze eine Höhe von 1,5 m bei 1,1 m Breite im lichten erhalten. Die Lenkerstangen wurden auch hier wie bei der Charlottenburger Anlage am unteren Ende in einer Geradeführung A, die an dem Mauerwerk befestigt ist und aus zwei Gleitschienen besteht, zwischen denen sich ein Kreuzkopf bewegt, am oberen Ende dagegen in einer einfachen Buchse B geführt. Abb. 3, 4, 7 u. 8 auf Blatt 59 veranschaulichen die Anordnung der Kreuzkopfführung, während Abb. 5, 6 und 9 bis 11 desselben Blattes die obere Buchsenführung darstellen. Ueberall wird, um die Reibungswiderstände zu vermindern, bezw. ein Anrosten beim längeren Nichtgebrauch in der winterlichen Schiffahrtsperre zu vermeiden, Eisen in Bronce geführt.

Die Bewegung der Lenkerstange geschieht unmittelbar durch den Kolben des senkrecht stehenden Druckcylinders (vgl. Abb. 5 u. 6 auf Blatt 59), dessen Stange mit dem am oberen Ende der Lenkerstange angebrachten Kopf durch einen eingesteckten Keil fest verbunden ist. Die nähere Einrichtung des

Druckcylinders wird bei den Maschinen-Anlagen beschrieben werden.

Die Betriebseinrichtungen mittels Maschinen.

a) Turbine.

Die Anlagen zum Betriebe der Schleuse und gleichzeitig des Sicherheitsthores oberhalb derselben haben, wie schon früher erwähnt, als bewegende Kraft eine Turbine erhalten, die von dem oberen Canalwasser beaufschlagt wird und am Oberhaupt der Schleuse in einem an dem Flügel auf Eisenconstruction an- bezw. vorgebauten Häuschen aus Wellblech aufgestellt ist. Sie ist nach dem Patent Lehmann als Combinations-Turbine mit Fontaineschen Zapfen, einem Leitrad mit 28 Zellen und Heynschen Patentklappschützen erbaut und erhält das Aufschlagwasser durch eine gufseiserne Rohrleitung von 0,7 m Durchmesser zugeführt. Abb. 1 bis 3 auf Blatt 60 lassen die Anordnung erkennen. Von dem Zuführungsrohr α zweigt sich unten ein Rohr β von 0,4 m Durchmesser ab, das durch eine durch das Handkurbelrad δ zu bewegende Drosselklappe geschlossen bezw. geöffnet werden kann. Das Rohr α ist oberhalb seitlich von der Abzweigung nach dem Rohr β hin ebenfalls mit einer Drosselklappe γ versehen, die durch die Kurbelvorrichtung ε geöffnet bezw. geschlossen werden kann. Es ist also hierdurch die Möglichkeit gegeben, auch das Turbinenzuleitungsrohr im Nothfalle unter Abschlufs der Turbine durch die Klappe γ mittels des Abzweigungsrohrs β unter Oeffnung der Klappe δ zum Ablassen der oberen Canalhaltung zu benutzen.

In der Turbine selbst können durch die Heynschen Patentklappschütze alle 28 Leitradzellen abgeschlossen und je nach Bedürfnifs eine nach der andern geöffnet werden. Dies geschieht mittels der Stellvorrichtung ζ, die gleichzeitig mit einem Zeiger versehen ist, welcher angiebt, wieviel Zellen des Leitrades geöffnet sind. Abb. 4 bis 10 auf Blatt 60 geben die Einzelheiten der Anordnung der Turbine, deren nähere Erläuterung hier wohl zu weit führen dürfte. Die Turbine ist von H. Queva u. Cie. in Erfurt für den Preis von rund 5200 ℳ fertig geliefert und aufgestellt und arbeitet vorzüglich. Bei dem augenblicklichen Umfange der Schiffahrt und dem Vorhandensein nur einer Schleuse genügt es, sie mit nur einer Zelle arbeiten zu lassen.

Von der Turbinenwelle A (Abb. 1 bis 3 auf Blatt 60) aus wird die Bewegung durch kegelförmige Zahnräder B, C auf eine wagerecht wenig über Fufsbodenhöhe liegende Welle D übertragen, auf der die Riemscheibe E sitzt. Diese ist durch Riemen mit der oben im Turbinenhause liegenden, mit Schwungrad versehenen Hauptbetriebswelle F verbunden und an dieser sind durch Kurbelzapfen $G\,G$ die Kolben der Druckpumpen $H\,H$ aufgehängt, die den Kraftsammler mit Wasser füllen. Für den Fall, dafs die Turbine versagen oder in der Ausbesserung befindlich sein sollte, sind die Pumpen $H\,H$ auch durch Menschenkraft von der Handwinde f aus zu betreiben, und ist dann der bezügliche Riemen hier aufzulegen.

Da zum Füllen der Druckcylinder nur möglichst reinstes Wasser verwendet werden soll, so wird das Canalwasser, bevor es den Druckpumpen zugeführt wird, noch einer Reinigung von Sinkstoffen unterzogen, und zwar geschieht es dadurch, dafs das aus dem Turbinenzuführungsrohr abgezweigte kleine Rohr K (das durch den Hahn L abgeschlossen werden kann) das Canalwasser nach dem Kohlenfilter M leitet, aus dem dasselbe erst durch das Rohr N nach dem Wasserbehälter O gelangen kann, von wo die Pumpen es nach dem Kraftsammler schaffen. Das im Filter überschüssige Wasser wird durch das Ueberlaufrohr P auf die Turbine als Verbrauchswasser aufgeführt. Zur Verhütung der Ueberfüllung des Wasserbehälters O ist das Rohr N, welches das Filterwasser diesem zuführt, mit einem Schwimmkugelhahn Q versehen, der bei Erreichung des zulässig höchsten Wasserstandes selbstthätig das Rohr schliefst und dadurch den ferneren Wasserzuflufs so lange absperrt, bis das Wasser unter diesen Stand gesunken ist.

Die Anordnung des Wellblechhäuschens sowie die Verbindung desselben mit dem Ufer durch eine Treppe, die Unterstützung der Turbine usw. ist aus Abb. 1 bis 3 auf Blatt 60 ersichtlich.

(Schlufs folgt.)

Die auf der Chaussee von Garnsee nach Lessen angelegte vollspurige Eisenbahn.

(Mit Zeichnungen auf Blatt 55 im Atlas.)

Bereits im Jahre 1882, während noch die Eisenbahn Thorn-Marienburg, die sogenannte Weichselstädtebahn, im Bau begriffen war, wurde aus den betheiligten Kreisen der Wunsch nach einer von Garnsee in östlicher Richtung ausgehenden Nebenbahn laut, welche die Stadt Lessen und deren ertragsreiche Umgegend mit der neuen Bahn in Verbindung setzen und an den von derselben zu erwartenden Vortheilen theilnehmen lassen sollte. Zur möglichsten Verminderung der Baukosten wurde in Erwägung gezogen, die in Aussicht genommene Kunststrafse von Lessen nach Garnsee derartig auszubauen, dafs dieselbe zur Mitbenutzung durch eine vollspurige Eisenbahn geeignet wäre. Die daraufhin eingeleiteten Untersuchungen und Verhandlungen führten zur Uebernahme des Baues seitens der Staats-Eisenbahnverwaltung, wobei die betheiligten Kreise sich verpflichten mufsten:

1. die Chaussee von Garnsee nach Lessen in einer für die Mitbenutzung durch die Bahn geeigneten Weise herzustellen und demnächst diese Mitbenutzung unentgeltlich und ohne besondere Entschädigung für die Dauer des Bestehens und Betriebes der Bahn zu gestatten, und

2. den gesamten zum Bau der Bahn und deren Nebenanlagen erforderlichen Grund und Boden der Staatsregierung unentgeltlich und lastenfrei zu überweisen.

Anfang September 1886 wurde mit dem Bau der Bahn begonnen und derselbe so gefördert, dafs bereits am 15. December desselben Jahres die Strecke dem Betriebe übergeben werden konnte.

Die 13,46 km lange Bahnlinie zweigt auf der Station Garnsee der Nebenbahn Thorn-Marienburg in nordöstlicher Richtung ab und tritt unmittelbar hinter dieser Station bei km 4,0 auf den rechts der Steinbahn gelegenen Sommerweg der 9,5 m breiten Chaussee von Garnsee nach Lessen, welche sie nur in der Nähe der beiden Zwischen-Haltestellen auf kurze Strecken verläfst, um den für die Ladestrafsen erforderlichen

Raum zu gewinnen. Der öffentliche Fuhrwerksverkehr bewegt sich auf der Steinbahn der Chaussee. Eine besondere Schutzvorrichtung zwischen dieser und dem Geleise ist nicht vorhanden, auch hat sich ein Bedürfnifs hierfür bis jetzt nicht herausgestellt. Das in der ersten Zeit der Eröffnung öfter beobachtete Scheuwerden der Zugthiere bei Annäherung eines Eisenbahnzuges hat im Laufe der Zeit merklich nachgelassen. Das Geleis liegt nach Abb. 1 Blatt 55 mit Schienenunterkante in Höhe der Chausseekrone. Die mit Steinschlag und Kies befestigten Ueberwege sind weder mit Schranken noch mit Warnungstafeln versehen, auch nicht beleuchtet. Unmittelbar hinter der Abzweigestation Garnsee steigt die Bahn nach Abb. 2 von + 93,10 N.N. bis zu ihrem höchsten Punkte + 103,15 in km 1,01, um alsdann ohne Unterbrechung bis zu ihrem tiefsten Punkte + 82,70 in km 2,01 zu fallen. Von hier aus erhebt sich die Bahn mit wechselnden Neigungsverhältnissen bis auf + 100,45 in km 1,108 und fällt bis zur Endstation auf + 85,44, sodafs der Höhenunterschied zwischen der Anfangs- und Endstation 7,66 m beträgt. Die gröfste Neigung, nämlich 1 : 41, enthält die Bahn zwischen km 6 und 7; dieselbe erstreckt sich auf eine gerade Linie von 385 m Länge. Fast ebenso starke Neigungsverhältnisse kehren auf mehreren Strecken wieder; auch sind Gegenneigungen 1 : 62 und 1 : 63 mit einer zwischenliegenden kurzen Wagerechten von 50 m Länge vorhanden.

Der kleinste Halbmesser beträgt auf der freien Strecke 260 m; die betreffende Krümmung liegt gleichzeitig in einer Neigung 1 : 150. Auf den Haltestellen bestehen Geleiskrümmungen mit Halbmessern von 200 m.

Die beiden, zwischen den Endstationen liegenden Haltestellen Schönbrück und Wiedersee sind nach den in Abb. 3 und 4 dargestellten Lageplänen ausgeführt; dieselben sind für den Personen-, Wagenladungs-, Eil- und Stückgut-Verkehr eingerichtet. Die Dienstgebäude dieser Haltestellen (Abbildung 5) mit Wartezimmer und einer Dienstwohnung, bestehend in Wohnzimmer, Kammer, Küche, Boden- und Kellerraum, liegen auf der linken Seite der Chaussee-Steinbahn, sodafs die Personen, um von dem Dienstgebäude nach dem Bahnsteig zu gelangen, den Strafsendamm überschreiten müssen. Die Entfernung zwischen dem Dienstgebäude und dem nächsten Geleis beträgt 16,4 m, ein Mafs, das sich als ausreichend erwiesen hat. Das Stallgebäude enthält einen Raum zur Unterbringung der Stückgüter, einen Holz- oder Viehstall und Aborte für Reisende und Beamte. In der Nähe des Dienstgebäudes befindet sich auf jeder Haltestelle ein Trinkbrunnen. Das dem Dienstgebäude zunächst gelegene Geleis ist auf beiden Haltestellen das Ladegeleis, sodafs die hier entsprechend verbreiterte Steinbahn zugleich als Ladestrafse dient. Da in den Zügen die Güterwagen stets vor den Personenwagen laufen, so sind, um die Abfertigung des Personen-, Gepäck- und Eilgut-Verkehrs in der Zeit bewirken zu können, in welcher das Aus- und Einsetzen der auf der Haltestelle zu belassenden und von derselben abzufahrenden Güterwagen durch die Zuglocomotive besorgt wird, kurz vor jeder der beiden Endweichen Bahnsteige von Kies geschüttet. Auf der Haltestelle Schönbrück ist indessen wegen des nach Westen unmittelbar anstofsenden starken Gefälles von 1 : 41 auf dem einen Ende der Bahnsteig später etwas weiter in die Haltestelle hinein verschoben und zwischen die beiden Geleise verlegt worden, damit die Personenwagen nicht auf die geneigte Strecke zu stehen kommen. Auch ist auf dieser Haltestelle zur sicheren Verhütung des Wagenablaufs nach der freien Strecke nachträglich eine Sicherheitsweiche mit kurzem Stumpfgeleis angeordnet. Die Weichen in den Hauptgeleisen sind in ihrer Ruhestellung mit sogenanntem „Thüringer Verschlufs“, auf das durchgehende Geleis gerichtet, verschlossen (Abb. 6). Der Verschlufs der Weiche wird dadurch bewirkt, dafs die Weichenzunge durch einen länglichrunden Kloben mit Vierkant mittels Schraube und Mutter an die Backenschiene fest angedrückt wird. Beim Oeffnen des Verschlusses wird die Schraubenmutter gelöst, der Kloben um die Stärke des Vierkants (5 mm) vorgezogen und auf die breite Seite gedreht, wonach die Weiche beliebig gestellt werden kann. Der Vierkant, welcher in eine gleichgrofse Oeffnung der Zunge pafst, soll das gewaltsame Oeffnen des festgeschraubten Verschlusses hindern. Das die Schraubenmutter umgebende Gehäuse, welches an der Backenschiene festgenietet ist, bezweckt, dafs die Schraube nicht mit einer beliebigen Zange, sondern nur mit dem dazu geeigneten Schlüssel gelöst werden kann.

Die in den Lageplänen angedeuteten Geleissperren bestehen nach Abb. 7 aus je einer Schwelle, welche, mittels eines eisernen Bandes um einen Pfahl drehbar, bei Sperrung des Geleises auf die benachbarte Schiene gelegt wird und an einem im Geleise stehenden Anschlagspfahl durch Klammer und Vorlegeschlofs angeschlossen werden kann.

Die Endstation Lessen (Abb. 8) hat eine etwas vollständigere Ausrüstung erhalten. Aufser einem Dienstgebäude mit angebautem Güterschuppen sind daselbst ein zweigeschossiges Beamtenwohnhaus mit Wirthschafts- und Abortgebäuden, ein Locomotivschuppen für zwei kleine Tendermaschinen, ein Wasserstationsgebäude mit einem Bottich von 36 cbm Inhalt, ein Wasserstationsbrunnen mit eingelassenem Pulsometer, ein Wasserkrahn mit Wasserleitung nach einem unweit des Dienstgebäudes aufgestellten Druckständer und eine hölzerne Viehrampe hergestellt.

Die vorbenannten Gebäude sind in gleicher Weise wiederholt auf Bahnhöfen der Nebenbahnen im Bereiche der Königlichen Eisenbahn-Direction Bromberg zur Ausführung gekommen, und entsprechende Zeichnungen für Wirthschafts-, Empfangs-, Beamtenwohn- und Wasserstations-Gebäude sind auf Seite 19, 20 und 36 des Jahrgangs 1884 des Centralblattes der Bauverwaltung in Abb. 3, 5, 8 und 9 bereits veröffentlicht worden.

Die beiden Hauptgeleise I und II sind als Aufstellungsgeleise 5 und 6 nach dem Bahnhofsende zu verlängert und enden gegen Prellböcke. Das Geleis 3 dient gleichzeitig als Lade- und Güterschuppengeleis; aufserdem ist noch ein Freiladegeleis Nr. 4 mit 90 m Länge nachträglich angelegt. Ein kurzes Stumpfgeleis führt nach dem Locomotivschuppen. Von den vorhandenen sechs Weichen sind nur die in dem Hauptgeleise I liegenden Weichen Nr. 1, 2 und 3 verschliefsbar.

Auf den Haltestellen Schönbrück und Wiedersee ist der Fahrkarten-Verkauf und die Güter-Abfertigung je einem Bahnagenten nach Mafsgabe einer den Verkehrsverhältnissen der Nebenbahn angepafsten Dienstanweisung übertragen, welche Einrichtung zu Bedenken bis jetzt keine Veranlassung gegeben hat. Den auf dreimonatliche Kündigung angestellten Agenten ist der Schankbetrieb auf den Haltestellen pachtfrei überlassen; von Seiten der Bahnverwaltung erhalten dieselben nur eine geringe Entschädigung.

Die Annahme von Gütern erfolgt auf den Haltestellen im Sommer von 7 bis 12 Uhr vormittags und von 2 bis 7 Uhr nachmittags, im Winter von 8 bis 12 Uhr vormittags und von 2 bis 7 Uhr nachmittags. Eine Abfertigung von Gepäck, Leichen, Fahrzeugen und Vieh findet nicht statt.

Der äufsere Dienst auf den Haltestellen — das Aus- und Einsetzen der Wagen, sowie das Oeffnen und Schliefsen der Weichen und Geleissperren — wird nicht von den Bahnagenten, sondern von dem Zugpersonal ausgeführt, zu welchem Zwecke im Packwagen des Zuges die Schlüssel für die Weichen und Geleissperren mitgeführt werden.

Das Reinigen der Weichen erfolgt durch einen Bahnwärter, dem die täglich einmalige Besichtigung und Instandhaltung der ganzen Strecke von Garnsee bis Lessen übertragen ist. Die Beleuchtung der Weichen, welche bald nach Eröffnung der Bahn zur Erhöhung der Betriebssicherheit sich als nothwendig herausstellte, wird dagegen von den Bahnagenten besorgt.

Auf der Endstation Lessen versieht den inneren und äufseren Dienst ein angestellter Beamter — Weichensteller erster Klasse — als Haltestellen-Vorsteher. Aufser demselben befinden sich dort noch ein Weichensteller, ein Locomotivführer, ein geprüfter Locomotivheizer, ein als Zugführer geprüfter Bremser, ein als Hülfsheizer befähigter Maschinenputzer und zwei Stationsarbeiter. Die Beamten und Arbeiter vertreten sich in Erkrankungs- und Beurlaubungsfällen gegenseitig, sodafs Vertretungskosten nicht entstehen. Die Stationsarbeiter sind als Hülfsbremser geprüft und werden zum Bremserdienst mit herangezogen.

Eine Beschränkung in der Annahme von Gütern findet auf dieser Station nicht statt. Auch im übrigen regelt sich der Dienst nach den für Nebenbahn-Stationen gleichen Umfangs getroffenen Bestimmungen.

Der Betrieb der Bahn ist dahin geregelt, dafs täglich in jeder Richtung zwei gemischte Züge, von Lessen ausgehend, zum Anschlufs an die Züge der Weichselstädtebahn verkehren. Die Züge bestehen aus einem vereinigten Post- und Gepäckwagen, einem Personenwagen II./III. Klasse und einem Personenwagen IV. Klasse, welche sämtlich mit Heberleinbremsen ausgerüstet sind und, wie bereits bemerkt, stets am Schlusse des Zuges hinter die zu befördernden Güterwagen gestellt werden. Die gröfste Wagenzahl eines Zuges hat bis jetzt 15 betragen. In der Regel werden in der verkehrsarmen Jahreszeit — Frühling und letzte Hälfte des Winters — 3 bis 7, in der verkehrsreichen Zeit 6 bis 10 Wagen befördert. Aufser den zwei gemischten Zügen in jeder Richtung sind noch je zwei Bedarfszüge im Fahrplane vorgesehen, welche jedoch von demselben Personal und mit derselben Maschine gefahren werden können. Kreuzungen von Zügen finden nicht statt. Da weder die Anfangs- noch die Endstation mit Drehscheiben ausgerüstet ist, so läuft die Zugmaschine in der einen Richtung stets mit dem Schornstein, in der andern Richtung stets mit dem Tender voran. Die Grundgeschwindigkeit der Züge beträgt nur 15 km in der Stunde, sodafs der Locomotivführer jederzeit in der Lage ist, den Zug schnell zum Halten zu bringen, wie dies in der ersten Zeit des Betriebes wiederholt erforderlich war, wenn die Pferde von Fuhrwerken scheu wurden oder ein Ueberschreiten des Geleises bezw. eine gefährliche Annäherung von Lastwagen zu befürchten war. Die beim Beginn des Betriebes getroffene Einrichtung, dem Locomotivheizer gleichzeitig die Geschäfte des Zugführers, Packmeisters, Schaffners und Bremsers, sowie die Leitung des Verschubdienstes auf den Zwischen-Haltestellen mit zu übertragen, mufste aufgehoben werden, weil dem Locomotivführer während des Ein- und Aussetzens der Wagen auf den Haltestellen mit Rücksicht auf die vorhandenen Neigungs- und Krümmungsverhältnisse die Bedienung der Locomotivbremse nicht mit übertragen werden konnte. Die Züge werden daher gegenwärtig von einem als Zugführer geprüften Bremser begleitet, welcher gleichzeitig die Geschäfte als Packmeister, Schaffner und Bremser mit zu versehen hat.

Zur Verständigung der Stationen unter einander und zur raschen Weitergabe dringender dienstlicher Meldungen, welche bislang wegen Mangels einer Drahtverbindung nicht angängig war, wurde im Frühjahr 1888 eine Fernsprecheinrichtung auf der genannten Strecke hergestellt und nach Mafsgabe einer besonderen Dienstanweisung in Betrieb genommen.

Ueber die geführten Unterredungen haben sowohl die Agenten der Haltestellen wie auch die Beamten der Anfangs- und Endstation je ein Dienstdepeschenbuch zu führen und in dasselbe die gemachten und erhaltenen Mittheilungen einzuschreiben. Hierbei ist derart zu verfahren, dafs der Empfänger diese Mittheilungen, soweit dieselben den Zugdienst und sonstige wichtige Vorkommnisse betreffen, in das Depeschenbuch wortgetreu einträgt und demnächst an den Absender zurückmeldet, worauf derselbe diese Meldung gleichfalls wortgetreu einschreibt, bezw. mit seinen schon bei der Angabe gemachten Eintragungen vergleicht. Bei anderen minder wichtigen Mittheilungen ist die geführte Unterredung kurz, aber ebenfalls erschöpfend, sofort niederzuschreiben. Im übrigen sind die Fernsprecher auch zur Bestellung von Wagen, zu dienstlichen Mittheilungen betreffs der Bahnunterhaltung und in aufsergewöhnlichen dringenden Fällen zum Verkehr mit den anderen Dienststellen oder den vorgesetzten Behörden zu benutzen. Die Station Garnsee hat die von den Haltestellen Schönbrück und Wiedersee und der Endstation Lessen eingetroffenen Fernsprech-Meldungen vermittelst des Morse-Schreibwerks weiter zu geben. Zu Privatmittheilungen darf der Fernsprecher nicht benutzt werden; ebenso ist es streng untersagt, Unbefugten die Benutzung desselben zu gestatten. Dieser Fernsprechbetrieb hat sich als vollständig ausreichend erwiesen; Klagen sind bisher nicht laut geworden.

Beim Betriebe der in Rede stehenden Nebenbahn sind besondere Mifsstände bisher nicht hervorgetreten. Jedoch ist zu bemerken, dafs der bei trockener heifser Jahreszeit in das Innere der Wagen dringende Chausseestaub von den Reisenden sehr unangenehm empfunden wird. Ferner hat der bei Neubauten unschwer zu verbessernde Umstand, dafs auf der Chaussee die eine Hälfte der Steinbahn nach dem Bahngeleise zu abfällt, zur Folge, dafs bei nassem Wetter Chausseeschlamm in das Geleis gelangt und die Kiesbettung undurchlässig macht. Hierdurch werden die Kosten für die Bahnunterhaltung vermehrt. Aufserdem sind im Winter bei gröfserem Schneefall dadurch Schwierigkeiten entstanden, dafs bei Räumung des Geleises der Schnee nur nach einer Seite — der Grabenseite — geworfen werden kann; auch bildet sich, wenn die Chausseeverwaltung die Fahrbahn nicht rechtzeitig räumt, auf der mit Schnee bedeckten

Chaussee leicht ein Wall, der bei ungünstigem Winde die Verwehung des tiefer gelegenen Geleises begünstigt. Endlich benutzen bei nicht rechtzeitigem Abräumen der Chaussee die Fuhrwerke mit Vorliebe das schneefreie Bahngeleis und vermögen dann oft die hoch mit Schnee bedeckte Fahrbahn nicht leicht wieder zu gewinnen, um einem ankommenden Zuge auszuweichen.

Die Baukosten der Bahn stellen sich auf rund 337000 Mark, also für 1 km Bahn auf rund 25000 Mark.

Bromberg, im December 1889. Bachmann.

Auflagerdrucklinien und deren Eigenschaften.

(Mit Abbildungen auf Blatt 56 im Atlas.)

Von H. T. Eddy, Ph. D., Professor der Mathematik und des Ingenieurfaches an der Universität in Cincinnati.

1. Der in der nachfolgenden Abhandlung vorzuführende Linienzug der Auflagerdrücke ist besonders geeignet zur zeichnerischen Auffindung derjenigen Radstellungen eines bestimmten Zuges von Radlasten, für welche das Biegungsmoment oder die Scherkraft in einem bestimmten Schnitte am gröfsten wird, und gestattet im allgemeinen einen bequemen Vergleich von mehreren Scherkräften oder Biegungsmomenten, die durch den Zug von Lasten während seiner Bewegung hervorgerufen werden. Diese Abhandlung enthält eine Erklärung der Natur dieser Auflagerdrucklinien, die Verfahren zur Aufzeichnung derselben und ihre Anwendung zur zeichnerischen Behandlung und Lösung verschiedener Aufgaben, die sich auf den geraden Balken und den einfachen Fachwerkträger beziehen. Die Behandlung der mehrfach gestützten Gelenkträger und der zusammengesetzten Fachwerkträger, für welche das Verfahren ebenso dient, wird später gezeigt werden.

2. In Abbildung 1 Blatt 56 sollen die aus wagerechten und senkrechten Strecken gebildeten Stufen k_1h_1, k_2h_2 usw. die Gröfsen und Stellungen einer Reihe von Raddrücken W_1, W_2 usw. darstellen, die in unveränderlichen Entfernungen von einander wirken. Diese Stufenlinie werde die Lastlinie genannt. Der Lastenzug soll sich über den Balken von der Spannweite $l=AB$ bewegen. Man mache nun die wagerechten Strecken k_1f_1, k_2f_2, k_3f_3 und k_4f_4 gleich der Spannweite l, ebenso die Strecken h_1g_1, h^2g_2, h_3g_3 und h_4g_4; sodann verbinde man die Punkte f und g mit den entsprechenden k und h. Befindet sich nun ein Balken von der Spannweite l in der Lage AB, dann stellt der von den Strahlen f_2k_2 und f_2h_2 begrenzte Abschnitt auf dem Lothe durch A im Mafsstabe der W den Theil der Last W_2 dar, der durch den Balken AB auf die Stütze A übertragen wird, und derjenige Abschnitt auf demselben Lothe, der zwischen den Strahlen f_3k_3 und f_3h_3 liegt, stellt den auf den Stützpunkt A übertragenen Theil der Last W_3 dar. In gleicher Weise stellt der von den Strahlen f_4k_4 und f_4h_4 begrenzte Theil des Lothes durch A den Theil der Last W_4 dar, welcher auf A übertragen wird. Die Summe dieser Abschnitte ist daher dem im Auflager A durch die Lasten W_2, W_3 und W_4 hervorgerufenen Auflagerdruck gleich und und soll mit V' bezeichnet werden. Wir tragen nun $V'=h_au_a$ senkrecht über A von der wagerechten Linie h_1k_2 aus aufwärts ab. Wird der Lastzug nun von rechts nach links oder, was gleichbedeutend, die Spannweite AB von links nach rechts verschoben, so werde der Auflagerdruck V' für jeden Ort von A von der Lastlinie aus aufwärts getragen. Das obere Ende u_a der Strecke V' wird dann der Reihe nach in u_1, u_2 usw. fallen, welche Punkte in ihrer Gesamtheit einen gebrochenen Linienzug bilden, den wir Auflagerdrucklinie für den Stützpunkt A der Spannweite AB nennen wollen. Dieser Linienzug als Inbegriff aller Orte des Punktes u_a wird leicht auf folgende Weise gefunden. Die in A zwischen den Punkten f_1 und f_2 von der Last W_1 allein hervorgerufenen Drücke sind begrenzt von den Strahlen f_1k_1 und f_1h_1; daher ist $f_1f'_2$ eine Seite des fraglichen Linienzuges. Die Drücke zwischen den Punkten f_2 und f_3 sind gleich der Summe der von den Lasten W_1 und W_2 hervorgerufenen Einzeldrücke; es wird daher $f'_2f'_3$ eine weitere Seite des Linienzuges sein, wenn der Punkt f'_3 in dem Lothe durch f_3 so bestimmt wird, dafs seine Höhe über f_1k_1 gleich der Summe derjenigen Strecken gemacht wird, die auf jenem Lothe innerhalb der Dreiecke $f_1k_1h_1$ und $f_2k_2h_2$ liegen. Von f'_3 aus verläuft der Linienzug nach u_1 hin, welcher Punkt im Lothe durch W_1 so gelegen ist, dafs h_1u_1 gleich der Summe der Strecken auf den Lothen ist, die innerhalb der Dreiecke $f_2k_2h_2$ und $f_3k_3h_3$ liegen, usw. Der Linienzug besitzt demnach je eine Ecke auf jedem Lothe, in welchem eine Last wirkt, und in jedem Lothe, das um die Länge der Spannweite l von einer Last absteht. Auf jedem solchen Lothe ist die Summe aller derjenigen Strecken abzutragen, die innerhalb der Dreiecke fkh liegen, ein Verfahren, welches leicht auszuführen ist.

Der Linienzug für die Gegendrücke im Stützpunkte B und für die Spannweite AB kann durch ähnliche Summenbildung aus denjenigen Strecken, die auf den Lothen innerhalb der Dreiecke ghk liegen, und Auftragen von der Lastlinie aus nach abwärts erhalten werden. Diese Bestimmung ist indessen unnöthig, denn stellt $V''=h_bv_b$ den Druck in B dar, so mufs $V'+V''$ gleich der Summe aller Lasten auf der Spannweite AB sein, und es mufs u_av_b demnach wagerecht sein, d. h. v_b liegt in der Entfernung l zur Rechten von u_a auf derselben Wagerechten. Der Linienzug der Drücke für den Stützpunkt B unterscheidet sich hiernach von dem für A nur dadurch, dafs er um die Entfernung l nach rechts verschoben erscheint, d. h. einander entsprechende Theile beider sind gleichlaufend.

Die Wagerechte u_av_b soll die Linie der Scherkraft Null für die Spannweite AB genannt werden, denn die Scherkraft in irgend einem Schnitt innerhalb der Spannweite AB wird, wie leicht einzusehen, dargestellt durch den zwischen jener Linie und der Lastlinie hk liegenden Theil des Lothes durch den fraglichen Schnitt. Der gröfste Werth von V' kann leicht durch einen Blick auf die Abbildung erkannt werden, da derselbe durch den gröfsten senkrechten Abstand zwischen dem Linienzug der Drücke uu und der Lastlinie hh dargestellt wird. Er stellt zugleich die gröfste Scherkraft in oder nahe um den Endpunkt der Spannweite AB dar. Die Frage nach

der gröfsten Scherkraft in einem beliebigen Schnitt der Spannweite AB wird später erörtert werden.

Die Lage des Schwerpunktes aller Lasten auf AB wird leicht in der Weise gefunden, dafs man $h_a h_b$ mit dem Schnittpunkt F auf $u_a v_b$ zieht; dann theilt der Punkt F die Spannweite $u_a v_b$ im Verhältnifs der Drücke V' und V''. Nun mache man $u_a G = v_b F$, so wird der Punkt G die Spannweite im umgekehrten Verhältnifs der Gröfsen der Drücke V' und V'' theilen; demzufolge liegt der Schwerpunkt der innerhalb AB stehenden Lasten in dem Lothe durch G.

3. In irgend einem Fachwerkträger einfachen Systems kann mit Hülfe der Auflagerdrucklinie für einen bestimmten Lastenzug an einer bestimmten Stelle die durch die Fahrbahnträger auf irgend einen Knotenpunkt übertragene Last oder die Scherkraft in jenem selbst bestimmt werden wie folgt: In Abbildung 2 stelle die Lastlinie hk den gegebenen Lastenzug dar, der aus einer Tenderlocomotive mit nachfolgender gleichmäfsig vertheilter Last bestehe; letztere sei unbegrenzt. Wir nehmen an, der Lastenzug belaste einen Fachwerkträger von der Länge $l = AB$ mit gleichen Fachlängen $p = AD = DC = CE = EB$. Wir zeichnen nun die Auflagerdrucklinie uu, vv für die Spannweite l und ebenso diejenige $u'u'$, $v'v'$ für die Fachlänge p. Ist der Balken in der Lage AB, dann wird $h_a u_a$ den Gesamtdruck am Auflager A darstellen, der durch die auf AB fallenden Lasten hervorgerufen wird. Ebenso stellt $h_a u'_a$ den Druck im Punkte A dar, der von der Last innerhalb des Faches AD herrührt. Gleicherweise stellt $h_b v_b$ den Gesamtdruck der Last auf AB im Auflager B und $h_b v'_b$ denjenigen der Last innerhalb des Faches EB dar. Es ist demzufolge $u_a u'_a$ gleich der senkrechten Scherkraft im Füllungsgliede des Faches AD. Ferner ist $h_d v'_d$ der Druck im Punkt D des Fahrbahnträgers AD, der von den Raddrücken innerhalb AD herrührt, und $h_d u'_d$ der von den Raddrücken innerhalb DC herrührende Druck. Somit ist $v'_d u'_d$ die Last, die auf den Knotenpunkt D von den Fahrbahnträgern der Fächer AD und DC übertragen wird. Aehnliche Ergebnisse erhält man bezüglich der Knotenpunkte C und E, es sind nämlich $v'_c u'_c$ und $v'_e u'_e$ die auf diese Punkte übertragenen Lasten.

In gleicher Weise wird die senkrechte Scherkraft in den Füllungsgliedern irgend eines Faches dargestellt durch den senkrechten Abstand zwischen der Nulllinie $u_a v_b$ für die Spannweite l und der treppenförmigen Linie der Scherkraft Null für die Fachlänge p, gebildet aus $u'_a v'_d$ für AD, $u'_d v'_c$ für DC usw.

Des weiteren ist es sehr leicht einzusehen, welches die gröfste Scherkraft am Ende des Faches AD sein wird, während der Zug die Spannweite durchläuft, da der Gröfstwerth dargestellt wird durch den gröfsten senkrechten Abstand zwischen den Auflagerdrucklinien uu und $u'u'$. Die Frage nach der gröfsten Scherkraft in irgend einem Fach wird später behandelt werden. — Die Scherkraft im Fahrbahnträger irgend eines Faches wird dargestellt durch den senkrechten Abstand zwischen der Linie der Scherkraft Null für das bezügliche Fach und der Lastlinie; für DC z. B. durch die Entfernung der Linie $u'_d v'_c$ von der Lastlinie.

4. Die auf einen Knotenpunkt übertragene gröfste Last wird, wie leicht einzusehen, durch den gröfsten senkrechten Abstand zwischen den Linienzügen $u'u'$ und $v'v'$ dargestellt, und es kann leicht aus Abbildung 2 herausgelesen werden, wo dies eintrifft, nämlich unter dem Raddruck W_3. Es folgt hieraus, dafs, während der Zug die Spannweite überschreitet, sobald der Raddruck W_3 irgend einen der Knotenpunkte D, C oder E erreicht hat, die auf ihn übertragene Last ihren Gröfstwerth erreicht. Um indessen die Uebersicht zu erleichtern, wird es von Nutzen sein, auf rechnerischem Wege die Bedingung für die stärkste Belastung eines Knotenpunktes abzuleiten.

Es bedeute e die Entfernung zwischen E und irgend einem Raddruck innerhalb des Faches EC, und d diejenige zwischen D und einem Raddruck innerhalb DC; dann wird die Belastung R des Knotenpunktes C sein:

$$R = 1/p\left(\sum_E^C We + \sum_D^C Wd\right).$$

In dieser Gleichung bedeutet wie vorher p die Fachlänge $DC = EC$. Bewegt sich der Lastenzug nun um die kleine Strecke δx nach links, sodafs e in $e + \delta x$ übergeht, d in $d - \delta x$ und R in $R + \delta R$, dann mufs

$$R + \delta R = 1/p\left[\sum_E^C W(e + \delta x) + \sum_D^C (d - \delta x)\right]$$

sein. Aus diesen beiden Gleichungen erhält man

$$1)\qquad \frac{\delta R}{\delta x} = \frac{1}{p}\left(\sum_E^C W - \sum_D^C W\right) = 1/p\,(P_e - P_d).$$

Hierin ist P_d die Gesamtlast im Fache DC und P_e diejenige im Fache EC. Damit R möglichst grofs werde, während der Zug sich nach links bewegt, mufs der Werth von $(P_e - P_d)$ vom positiven in einen negativen übergehen. Dieser Wechsel kann nur eintreten, indem ein Rad C erreicht, sodafs, wenn es von P_e zur rechten ab- und in P_d zur linken übergeht, die rechte Seite der Gleichung 1) von einem positiven in einen negativen Werth übergeht. Denn ein Rad, das in das Fach EC eintritt von der Seite rechts von E, wird eine Zunahme von P_e, und ein Rad, welches das Fach DC nach links hin verläfst, wird eine Abnahme von P_d bewirken. Beide Fälle haben daher zur Folge, dafs dieser Ausdruck der Gleichung vom negativen zum positiven Werth übergeht, nicht aber umgekehrt, und demzufolge kann in solchen Fällen R nur zum Kleinsten, nicht aber zu einem Gröfsten werden.

Damit wäre erwiesen, dafs die einzigen Lothe, in denen ein Gröfstwerth von R eintritt, diejenigen sind, in denen die Raddrücke wirken, und diese Beschränkung erleichtert die vergleichende Betrachtung zur Auffindung der Stellung des Zuges, die R möglichst grofs macht, bedeutend. Der gröfste Werth tritt auch dann unter einem Rad ein, wenn die Fachlängen ungleich sind.

5. Eine Schar von Auflagerdrucklinien entsteht durch deren Aufzeichnung für ein und denselben Lastenzug und eine Anzahl verschiedener Spannweiten. Abbildung 3 enthält mehrere solche Linien für einen der gezeichneten Lastlinie entsprechenden Zug von Lasten. Die Auflagerdrucklinien wurden bestimmt für eine Folge von Spannweiten von 5, 10, 15, 20, 25 und 50 Fufs engl. Der Lastzug besteht aus einer gewöhnlichen Consolidationslocomotive mit Tender, der ein durch eine gleichmäfsig vertheilte Last ersetzter Wagenzug unmittelbar vorangeht und nachfolgt. Der Mafsstab der Lasten (Höhen) befindet sich auf einem Lothe in der Mitte und derjenige für die wagerechten Entfer-

nungen am unteren und oberen Rande und durch die Mitte der Abbildung.

Zur Lösung der verschiedenen Aufgaben, die hier behandelt werden sollen, setzen wir die Aufzeichnung einer solchen Schar von Auflagerdrucklinien als durchgeführt voraus. Für die Anwendung empfiehlt es sich, diese Linienzüge auf einem aufgezogenen Blatte ein für alle mal in einem zur Vergleichung hinreichend grofsen Mafsstabe zu zeichnen. Die für bestimmte Fälle — d. h. für Spannweiten, die nur wenig von den der Schar von Auflagerdrucklinien zu Grunde liegenden Spannweiten abweichen — nöthigen Linienzüge sind dann leicht hinreichend genau durch Einschaltung zu erhalten. Die gegebenen Linienzüge brauchen übrigens nicht sehr nahe beisammen zu sein, um mit hinreichender Genauigkeit zur Lösung der meisten Aufgaben dienen zu können, da letztere meist eine gemeinsame Eigenschaft besitzen, welche bereits an einem Beispiel in der besprochenen Aufgabe über den gröfsten Werth der Belastung R des Knotenpunktes hervorgehoben wurde. Die Zeichnung soll nämlich nicht den Gröfstwerth von R selber bestimmen, sondern nur mit Sicherheit zeigen, welches Rad über den Knotenpunkt gebracht werden mufs, damit R möglichst grofs wird. Obwohl auch das erstere möglich und die Gröfse von R mit beträchtlicher Genauigkeit zu messen ist, so wird es dennoch bei vielen anderen Aufgaben nicht thunlich sein, etwas über die Gröfse des in Betracht stehenden Werthes aus derselben Zeichnung zu erfahren, welche nur benutzt wird, die Stellung des Lastenzuges zu finden, die den Gröfstwerth erzeugt. Es ist einleuchtend, dafs keine sehr genaue Ermittlung nöthig ist, da für gewöhnlich vorkommende Fälle nur zu unterscheiden ist zwischen den verschiedenen Raddrücken, um herauszufinden, welches die für den Gröfstwerth verlangten Bedingungen erfüllt, denn der Vorgang besteht blos in der Auswahl unter mehreren Gröfsen, die alle um einen endlichen Betrag von einander verschieden sind. Im allgemeinen z. B. könnte mit Gewifsheit und Leichtigkeit aus Abbildung 3 herausgelesen werden, welches Rad über dem Knotenpunkt stehen mufs, um R möglichst grofs zu machen nicht nur für Fachweiten von 5, 10, 15, 20 oder 25 Fufs, sondern für irgend eine zwischen diesen Zahlen liegende Fachweite. Es empfiehlt sich daher, die Schar von Auflagerdrucklinien für einen gegebenen Lastenzug hauptsächlich nur dazu zu benutzen, auf zeichnerischem Wege diejenigen Laststellungen zu ermitteln, die gröfste Kräfte erzeugen, die wirklichen Werthe derselben aber in anderer Weise zu bestimmen. Es ist in Abbildung 3 bemerkbar, dafs die Auflagerdrucklinien sich desto näher an regelmäfsige Curven anschmiegen, je länger die Spannweiten sind, und dafs dann die einzelnen Linienzüge zu einander nahezu gleichlaufend werden. Daraus erhellt, dafs die Genauigkeit der Einschaltung eine gröfsere ist für lange Spannweiten als für kurze, vorausgesetzt, dafs die aufeinander folgenden Linienzüge für in derselben Folge um einen gleichen Betrag zunehmende Spannweiten entworfen sind. Der Zeitaufwand für die Aufzeichnung der Auflagerdrucklinien wächst jedoch mit der Spannweite. Es ist daher rathsam, bei der Herstellung des für die Anwendung bestimmten, schon früher erwähnten Blattes die Linienzüge für kurze Spannweiten nahe aneinander zu reihen und dieselben weiter auseinander zu halten für grofse Spannweiten.

Es erhellt, dafs die Lastlinie selbst die Auflagerdrucklinie ist für eine Spannweite = 0, und daher wird auch die Erörterung der Eigenschaften dieser Lastlinie einen gewichtigen Abschnitt dieser Untersuchung bilden. Z. B. werden die hauptsächlichsten Aufgaben über die gröfsten Spannungen in den verschiedenen Theilen eines Fachwerks einfachen Systems mit Hülfe dieser Lastlinie allein gelöst. Ferner erhellt, dafs dieses Verfahren vom gröfsten Nutzen ist, wenn eine ganze Anzahl von Brückenträgern für einen vorgeschriebenen Lastenzug berechnet werden soll; denn ein einziges Blatt, welches die Schar der Auflagerdrucklinien für diesen Lastenzug enthält, genügt für eine beliebige Anzahl von Bestimmungen. Dieses Blatt erweist sich auch nützlich, wenn es auf Netzpapier gezeichnet wird, da das Liniennetz den Gebrauch aufserordentlich erleichtert. Uebrigens ist es nicht nöthig, auf das Blatt mehr als eine Auflagerdrucklinie für jede Spannweite zu zeichnen, z. B. diejenige für das Auflager A, welche alle über die Lastlinie zu liegen kommen. Sollte es dann verlangt werden, den gröfsten Werth von R zu ermitteln, so wäre nur nöthig, sich eines viereckigen rechtwinkligen Hülfsblattes zu bedienen, auf das die Fachweite AD am unteren Rande aufgetragen ist. Wir bezeichnen die untere rechte Ecke des Hülfsblattes mit v_b und tragen $u_a v_b = AD$ auf. Um das Hülfsblatt richtig zu benutzen, wird dasselbe auf dem Hauptblatt in solcher Weise verschoben, dafs, während der untere Rand wagerecht bleibt, der Punkt u_a sich auf der Auflagerdrucklinie um die Spannweite AD bewegt. Blofse Betrachtung wird dann leicht ersichtlich machen, unter welche Last der rechtsseitige Rand des Hülfsblattes gebracht werden mufs, damit der Werth von $R = v_b u_b$ am gröfsten werde.

6. Die gröfste Scherkraft in irgend einem Punkt C eines Balkens, dessen Spannweite $AB = l$, wird bekanntlich immer unter einem der vorderen Räder des Lastenzuges erzeugt. Um nun die gröfste Scherkraft in irgend einem Querschnitt zu finden, ist blos nöthig, einen Vergleich anzustellen zwischen den einzelnen Scherkräften, die unter mehreren der Räder erzeugt werden, ein Vergleich, den die Auflagerdrucklinie leicht gestattet. Um dies deutlich zu machen, sollen die Punkte A, C, B des Balkens anfänglich die Orte $A' C' B'$ (Abbildung 4) einnehmen und dann nach rechts hin verschoben werden in die Orte $A'' C'' B''$, während der Lastenzug festgehalten wird, sodafs $A'A'' = x$. Dieser Vorgang ist natürlich gleichbedeutend mit einer Verschiebung des Lastenzuges auf dem Balken um eine Strecke x von rechts nach links.

Bezeichnet S'' die Scherkraft in C'' und S' diejenige in C', dann ist $S'' = \frac{1}{l} \sum_{A''}^{B''} W b'' - \sum_{A''}^{C''} W$ und $S' = \frac{1}{l} \sum_{A'}^{B'} W b' - \sum_{A'}^{C'} W$, in welchen Gleichungen die W die Raddrücke bezeichnen innerhalb der angegebenen Grenzen b'' und b', die Abstände dieser Räder von B'' und B', als positiv gerechnet nach links hin. Der Unterschied der beiden Scherkräfte kann in folgender Form geschrieben werden:

$$S'' - S' = \left[\sum_{A'}^{B'} + \sum_{B'}^{B''} - \sum_{A'}^{A''} \right] W \frac{b''}{l} - \sum_{A'}^{B'} W \frac{b'}{l} -$$
$$\left[\sum_{A'}^{C'} + \sum_{C'}^{C''} - \sum_{A'}^{A''} \right] W + \sum_{A'}^{C'} W,$$

wie aus der Betrachtung der Strecken ersichtlich ist, über welche sich diese zusammengesetzten Summen erstrecken. Nun ist offenbar $b'' - b' = x$ und wenn wir $b'' - a'' = l$ setzen, so ist a'' die Entfernung von A'' bis zu irgend einem Rad-

druck positiv gerechnet nach links hin. Unter Zuhülfenahme dieser Bezeichnungen können die vorstehenden Gleichungen auf die Form gebracht werden:

$$2)\qquad \frac{S''-S'}{x}=\frac{1}{l}\left(L'-\sum_{A'}^{A''}W\frac{a''}{x}+\sum_{B'}^{B''}W\frac{b''}{x}\right)-\frac{X}{x},$$

in welcher Gleichung L' der Kürze wegen die ganze anfängliche Last bezeichne, d. h. die Summe aller Raddrücke zwischen A' und B', während X die Summe derer zwischen C' und C'' bezeichnet. Es ist ersichtlich, dafs, da alle Raddrücke zwischen A' und A'' sich links von A'' befinden, der Werth von a'' für jeden dieser Raddrücke nothwendigerweise positiv ist.

Die drei letzten Gröfsen in Gleichung 2) enthalten den Einflufs der Raddrücke, welche während des Vorrückens über den Träger AB im Auflager A von demselben abfahren, derjenigen, welche im Punkte B auf denselben auffahren und derjenigen, welche den Querschnitt C überschreiten, wenn die anfängliche Stellung von der folgenden um die Strecke x verschieden ist. Wenn C' (und S') unter irgend einem Raddruck gewählt wird und C'' (und S'') unter irgend einem andern, dann wird die Gleichung 2) zeigen, welches Rad die gröfsere Scherkraft in C erzeugt. Aus Abbildung 4 ergiebt sich L' als die Last zwischen A' und B'; ebenso ist

$$\sum_{A'}^{A''}W\frac{a''}{x}=\text{Höhe } h_a u_a \text{ und } \sum_{B'}^{B''}W\frac{b''}{x}=\text{Höhe } h_b u_b,$$

vorausgesetzt, u_a und u_b liegen auf der Auflagerdrucklinie für eine Spannweite von der Länge x, da obige Ausdrücke diejenigen sind für die Auflagerdrücke in A' und B', den jeweiligen linksseitigen Enden der Spannweiten $A'A''$ und $B'B''$. Ferner stellt

$$\frac{1}{l}\left(L'-\sum_{A'}^{A''}W\frac{a''}{x}+\sum_{B'}^{B''}W\frac{b''}{x}\right)$$ die Tangente des Winkels dar,

den die ansteigende Linie $u_a u_b$ mit $A'B'$ einschliefst, und kann daher als Mafs für die Neigung gelten. Weiter ist X die Gesamtlast zwischen C' und C'' und $X:x$ die Tangente des Winkels, den $k'k''$ mit $A'B'$ einschliefst. Ist die Neigung von $u_a u_b$ daher steiler als diejenige von $k'k''$, dann ist $S'' > S'$, wenn dagegen $k'k''$ eine steilere Neigung besitzt, dann ist $S'' < S'$. Es mufs hier bemerkt werden, dafs irgend welche geringe Fehler in der Höhenlage von u_a und u_b, wie solche durch das früher erwähnte Einschaltungsverfahren leicht entstehen können, nur geringe Fehler in der Neigung von $u_a u_b$ erzeugen können.

Dieser Vergleich der Neigungen von $u_a u_b$ und $k'k''$ bedingt in keiner Weise das Zeichnen dieser Linien, auf dem die ganze Schar von Auflagerdrucklinien enthaltenden Hauptblatt und eine dadurch erfolgende Beschädigung desselben, da die Vergleichung beider mit Hülfe von zwei Linealen oder einem Lineal und einem angespannten dünnen Faden gemacht werden kann.

Gleichung 2) kann noch weiter benutzt werden zur Bestimmung derjenigen Strecken, innerhalb welcher die gröfste Scherkraft bedingt wird von einer Aufeinanderfolge von Raddrücken nahe am Kopf des Lastenzuges, im Falle dafs der Zug aus einer oder mehreren Locomotiven bestehen sollte, denen eine gleichmäfsig auf die Längeneinheit vertheilte Last nachfolgt, aber nicht vorausgeht. Eine solche Anordnung der Last kann bekanntermafsen die gefährlichste Scherkraft erzeugen.

Es ist einleuchtend, dafs, wenn der Lastzug von Raddrücken, wie solcher in Abbildung 5 dargestellt ist, auf die Spannweite in B auffährt, die Scherkraft innerhalb einer gewissen Entfernung von B gröfser sein wird unter W_1 als unter irgend einem ihm nachfolgenden Raddrucke. Zur Vermeidung von Mifsverständnissen mag es bemerkt sein, dafs wir als Scherkraft unter einem Rade immer diejenige in einem unendlich nahen Schnitte zur Linken bezeichnen. — Um den Punkt aufzufinden, für welchen die Scherkraft unter W_2 gerade gleich ist derjenigen unter W_1, bezeichne man mit S_2 und S_1 die Scherkraft unter W_2 und W_1. Dann haben wir in Gleichung 2) $S_2 = S_1$ und $X = W_1$, während x die Entfernung darstellt zwischen W_2 und W_1. Gleichung 2) kann dann auf die Form gebracht werden:

$$3)\qquad L'+\sum_{B'}^{B''}W\frac{b''}{x}=W_1\frac{l}{x},$$

denn der Ausdruck $\sum_{A'}^{A''}W\frac{a''}{l}$ verschwindet, weil, wie vorausgesetzt, kein Theil des Lastzuges A'' erreicht hat im Zeitabschnitt, innerhalb dessen $S_2 = S_1$ wird.

Man verlängere nun die Linie k_1k_2, welche die Neigung $W_1:x$ besitzt, bis zum Schnitt mit dem Loth mn in einem Abstande von k_1, sodafs $k_1m = l = AB$; dann ist $mn = W_1\,l:x$. Durch n ziehe man eine Wagerechte, welche die Auflagerdrucklinie für die Spannweite x in u_b schneidet, so wird, wenn $AB = l$ ist, k_1 der Punkt C sein für die Spannweite AB, für den S_2 gerade $= S_1$ wird und die gröfste Scherkraft innerhalb der Strecke BC erzeugt der Raddruck W_1. Zur Linken von C befindet sich die Strecke, innerhalb welcher die gröfste Scherkraft durch den Raddruck W_2 erzeugt wird. Man thut wohl, zu beachten, dafs, wenn die Neigungslinie $S_2 = S_1$ auf das Hauptblatt aufgetragen wird, der Punkt B und damit die Strecke BC, für welche W_1 mafsgebend ist, für irgend eine Spannweite l ohne Einzeichnen einer weiteren Linie leicht gefunden wird. In ähnlicher Weise ist derjenige Ort aufzufinden, für den S_3, die Scherkraft unter W_3, gerade $= S_2$ wird, im Falle dies möglich, bevor W_1 die Spannweite verläfst; und die Entfernung zwischen dem so gefundenen Punkte und dem oben gefundenen Punkt C stellt die Strecke dar, für deren gröfste Scherkraft W_2 mafsgebend ist. Es giebt übrigens selten mehr als zwei oder drei solcher Strecken, indem im allgemeinen für die Scherkraft immer ein dem Kopfende des Zuges benachbarter Raddruck mafsgebend ist. Die gröfste Scherkraft, welche in der Nähe von A auftritt, nachdem ein oder mehrere Raddrücke die Spannweite verlassen, wurde früher besprochen.

Es ist beachtenswerth, dafs, wenn u_b und ebenso C nicht sehr genau bestimmt sind, dies nur unbedeutenden Einflufs hat, denn die Scherkraft unter W_1 ist beinahe gleich der unter W_2 für alle nahe bei C gelegenen Punkte. Indessen ist es doch von Werth, eine Auflagerdrucklinie auf dem Hauptblatt zu haben für eine Spannweite gleich der genauen Entfernung zwischen W_1 und W_2.

7. Diejenige Stellung des Lastenzuges, welche die zur Bestimmung der Spannungen in den Füllungsgliedern eines Faches DE nöthige gröfste Scherkraft erzeugt, kann im Falle eines Fachwerkträgers einfachen Systems mit unveränderlichem Gurtabstand mit Hülfe der Lastlinie allein wie folgt aufgefunden werden.

In Abbildung 6 bezeichne S die Scherkraft in den Füllungsgliedern eines Faches DE. Dann ist S gleich dem Unterschiede zwischen der Scherkraft in C als zur Spannweite AB

gehörig und der Scherkraft im Punkt C als zur Spannweite DE gehörig, wie bereits an Abbildung 2 gezeigt wurde. Es ist daher $S = \sum_A^B W \frac{b}{l} - \sum_A^C W - \sum_E^D W \frac{d}{p} + \sum_E^C W$, in welcher Gleichung d den Abstand des Punktes D von irgend einem Rad im Fache DE von der Länge p, und b den Abstand des Punktes B von irgend einem Rad innerhalb der Spannweite AB von der Länge l bedeutet. Es bewege sich nun der Lastenzug um eine kleine Strecke δx nach links hin, wodurch S, b und d in $S + \delta S$, $b + \delta x$ und $d + \delta x$ übergehen. Damit ergiebt sich aus vorstehender Gleichung

$$4) \qquad \frac{\delta S}{\delta x} = \frac{L}{l} - \frac{P}{p},$$

worin L die gesamte auf AB aufgebrachte Last und P die auf DE fallende Last bezeichnet.

Damit S möglichst grofs werde, mufs die rechte Seite vom positiven in einen negativen Werth übergehen, was aber, so lange der Zug sich nach links bewegt, nur eintreten kann, indem entweder ein Rad in die Strecke DE im Punkt D eintritt, oder indem ein Rad die Strecke AB in A verläfst, denn im ersteren Falle wächst P und im letzteren nimmt L ab. S kann aus dem einen oder andern Grunde mehrere mal während des Vorrückens eines Zuges einen gröfsten Werth erreichen, aber wahrscheinlicher in dem Falle, wenn ein Rad bei D in die Strecke DE einfährt, als wenn ein Rad in A die Strecke AB verläfst, weil in Gleichung 4) P nur einen kleinen Nenner besitzt, während L einen Nenner l hat, der mehrfach so grofs ist als p. Eine Aenderung des Werthes P übt daher einen viel entschiedeneren Einflufs aus auf das Vorzeichen der rechten Seite in Gleichung 4), als eine gleiche Werthänderung von L.

Wenn irgend ein Raddruck W_d in D anlangt, wie in Abbildung 6 dargestellt, sodafs die Neigung der Linie $h_e k_d$ geringer, aber die Neigung der Linie $h_e h_d$ gröfser wird als die Neigung der Linie $h_a h_b$, so ist es einleuchtend, dafs die rechte Seite der Gleichung 4) positiv oder negativ sein wird, je nachdem W_d aufserhalb oder innerhalb der Strecke DE stehend angenommen wird, und das Vorzeichen wird vom positiven zum negativen übergehen, sobald W^d aufserhalb DE tritt. Ob dies der Fall, läfst sich bequem dadurch ermitteln, dafs ein Zeichenwinkel an $h_a h_b$ angelegt und durch Abschieben festgestellt wird, ob eine dem Parallele durch h_e die Strecke W_d schneidet oder nicht. Schneidet sie W_d, dann geht die rechte Seite von Gleichung 4) von + in — über, indem W_d in D innerhalb DE eintritt, und S hat für diese Radstellung einen Gröfstwerth. — Die Arbeit wird bedeutend erleichtert durch Aufzeichnen der Punkte $AEDB$ an der geradlinigen Kante eines Stückes steifen Papiers, das auf dem Hauptblatt in solche Lagen geschoben wird, dafs D der Reihe nach in die Lothe durch die aufeinanderfolgenden Raddrücke zu liegen kommt. Ein noch bequemeres Verfahren zur Auffindung der Radstellung, die einen gröfsten Werth für S im Endfach ergiebt, wurde früher im Zusammenhange mit Abbildung 2 erklärt.

Wenn ein Raddruck, z. B. $W_a = k_a h_a$, die Spannweite AB in A verläfst, bestehen zwei Neigungslinien $h_a h_b$ und $k_a h_b$ für die Spannweite AB. Im Falle die eine eine stärkere und die andere eine schwächere Neigung besitzt, als die Fachweiten-Neigungslinie $h_e h_d$, so wird S einen Gröfstwerth erreichen beim Austritt von W_a aus der Spannweite AB in A. Gewöhnlich wird daher, wenn eine Parallele zu $h_e h_d$, die durch h_b geführt wird, irgend eine Radlast W_a schneidet, S am gröfsten sein in DE mit dem Raddruck W_a in A. — Auf gleiche Weise kann gezeigt werden, dafs die Scherkraft in DE am kleinsten wird entweder beim Austritt eines Rades aus der Strecke DE in E oder beim Eintritt eines solchen innerhalb AB in B, wahrscheinlicher aber eher im ersteren Falle, als im letzteren.

Nun ist aber bekannt, dafs unter den verschiedenen Gröfstwerthen von S, welche an irgend einer Stelle der Spannweite während des Vorrückens des Zuges eintreten können, der gröfste gewöhnlich nahe am Kopfende des Zuges vorkommt. Es wird dann stets vortheilhaft sein, diejenigen Strecken der Spannweite aufzufinden, in welchen für den Gröfstwerth von S die aufeinanderfolgenden Raddrücke am Kopfende des Zuges mafsgebend sind, welche Strecken der Reihe nach auf folgende Weise bestimmt werden mögen. Zuerst untersuche man, für welchen Ort die rechte Seite in Gleichung 4) verschwindet im Falle, dafs $P = W_1$, d. h. im Falle $\frac{W_1}{p} l = L$, welch letztere Gleichung dazu dient, den Werth von L im Falle $P = W_1$ und die Stellung des Zuges sowie die Länge der Strecke zu bestimmen, innerhalb welcher der Gröfstwerth von S von W_1 abhängt.

In Abbildung 7 sei $k_1 i = p =$ der Fachlänge, und $i i_1 = W_1$. Man ziehe die Linie $k_1 i_1$, verlängere sie bis j_1 und trage $k_1 m = l$ (= der Länge der Spannweite) ab, dann folgt aus der Aehnlichkeit der Dreiecke $m j_1 = W_1 \frac{l}{p}$. Nun ziehe man eine Wagerechte durch j_1; diese schneidet W_3, und es ist einleuchtend, dafs so lange als W_1, oder W_1 und W_2, aber nicht W_3 sich innerhalb der Spannweite befindet, die rechte Seite der Gleichung 4) negativ oder positiv sein wird, je nachdem W_1 in das in Frage stehende Fach eintritt oder nicht, d. h. der Gröfstwerth von S ist abhängig von W_1 in allen den Fächern der Spannweite, deren rechtsseitiger Knotenpunkt von W_1 erreicht wird, während wenigstens ein Rad, aber nicht mehr als zwei Räder, innerhalb der Spannweite stehen. Es ist nothwendig, dafs wenigstens ein Rad innerhalb der Spannweite sei, weil sonst L verschwinden würde und die rechte Seite von Gleichung 4) das Zeichen nicht wechseln könnte. Diese Vorbedingung schliefst natürlich das Fach am rechtsseitigen Ende der Spannweite von der Betrachtung aus, in welchem S unabänderlich Null oder negativ ist. Denn wenn W_1 an seinem rechtsseitigen Knotenpunkt steht, verschwindet L; aber das ist von keiner Bedeutung, denn die gröfste Scherkraft im Endfache ist bereits auf andere Weise gefunden worden.

Wie schon gezeigt wurde, kann der Zug in Abbildung 7 nur auf eine Strecke gleich der Entfernung zwischen W_1 und W_3 auf die Spannweite auffahren, bevor der Gröfstwerth von S von W_2 abhängig wird. Infolge dessen stellt $A_1 B_1$ die äufserste Stellung der Spannweite dar, da zwei und nicht mehr Räder so weit als möglich auf die Spannweite aufgefahren sind. Daher ist CB_1 diejenige Strecke, deren gröfste Scherkraft durch W_1 abhängig ist. Aber CB_1 ist weniger als eine Fachlänge; demzufolge ist in Wirklichkeit keine Fachlänge dieses Trägers von W_1 abhängig, denn wie bereits erwähnt, haben wir so wie so von dem rechtsseitigen Endfach Umgang zu nehmen, da innerhalb desselben S entweder Null oder negativ ist.

Nunmehr sei $P = W_1 + W_2 = i i_2$ und es werde $k_1 i_2$ bis j_2 verlängert, dann folgt aus der Aehnlichkeit der Dreiecke $m j_2 = (W_1 + W_2)\frac{l}{p}$, und wenn irgend eine Last, die nicht gröfser ist als $m j_2$, auf die Spannweite aufgefahren wird, so wird der Gröfstwerth von S von W_2 abhängig in jenem Theile von CB_2, in welchem derselbe nicht schon als abhängig von W_1 erwiesen ist. Dies umschliefst in Abbildung 7 alle noch übrigen Fächer, indem dieselben zur Linken des letzten von W_2 abhängigen Knotenpunktes liegen. Dies schliefst indes die Möglichkeit des Auftretens einer diese im letzten linksseitigen Fache an Gröfse noch übertreffenden Scherkraft nicht aus, nachdem ein oder mehrere Räder die Spannweite verlassen haben, welche nach dem früher bei Abbildung 2 behandelten Verfahren aufgefunden wird. — Ganz in ähnlicher Weise wird vorgegangen mit dem Raddruck W_3. — Keine dieser Ermittlungen benöthigt das Zeichnen von Linien auf dem Hauptblatt, da die Entfernungen CB_1, $CB_2 \ldots$ auf dem Netzpapier unmittelbar abgelesen werden können, wenn ein straffer Faden der Reihe nach in die Lagen $k_1 j_1$, $k_2 j_2 \ldots$ gebracht wird.

8. Diese Stellung des Zuges, bei welcher ein gröfstes Biegungsmoment an irgend einem Punkt C der Spannweite AB erzeugt wird, kann ebenso leicht aufgefunden werden mit Hülfe der Lastlinie allein. Es bestehe der bewegliche Lastenzug aus einer oder mehreren Locomotiven mit Tendern, denen eine unbegrenzte gleichmäfsig vertheilte Zuglast nachfolgt und auch vorangeht. Der Ausdruck für den Werth des Biegungsmomentes M in C kann folgenderweise geschrieben werden:

$$M = \frac{c_a}{l}\sum_A^B Wb - \sum_A^C Wc,$$

in welcher Gleichung c_a die Entfernung von C bis A darstellt; b ist die Entfernung von B bis zu irgend einer Radlast innerhalb AB und c ist die Entfernung von C bis zu irgend einer Radlast W innerhalb AC. Nun soll der Zug um eine unendlich kleine Strecke δx sich nach links bewegen, dann ist:

$$M + \delta M = \frac{c_a}{l}\sum_A^B W(b + \delta x) - \sum_A^C W(c + \delta x).$$

Aus diesen Gleichungen ergiebt sich:

$$5) \qquad \frac{\delta M}{\delta x} = L\frac{c_a}{l} - C_a,$$

eine Gleichung, in welcher L die Gesamtlast auf der Spannweite $AB = C$ und C_a diejenige innerhalb des Abschnittes $AC = c_a$ bedeutet.

Damit M möglichst grofs werde, mufs die rechte Seite der Gleichung 5) aus einem positiven in einen negativen Werth übergehen. Ein solcher Wechsel kann aber nur vorkommen während einer Bewegung eines Raddruckes W_c von der rechten nach der linken Seite des Punktes C, wodurch C_a um den Betrag W_c vermehrt wird. Dafs dieser Wechsel auf diese Weise stattfinden kann, ist genügend ersichtlich, aber dafs er auf diese Weise allein eintreten kann, zeigt eine Betrachtung der Zeichenwechsel, welche die rechte Seite der Gleichung 5) erfährt, wenn entweder Räder auf die Spannweite einfahren oder dieselbe verlassen. Wenn ein Rad auf die Spannweite in B auffährt, so bewirkt dies eine Zunahme von L, diese aber kann nicht verursachen, dafs 5) negativ werde. Ebenso wenn ein Rad die Spannweite im Punkt A verläfst, wird dies eine Abnahme von L sowohl als C_a um den Betrag des Raddruckes und damit im ganzen eine Zunahme der rechten Seite von Gleichung 5) bewirken, denn da $C_a < l$ ist, übt das Verlassen des Rades mehr Einflufs auf eine Abnahme von C_a als von $L\frac{c_a}{l}$ aus. Zum Beispiel ist in Abbildung 8 für die angenommene Stellung der Spannweite $AB = l$ die Gesamtlast $L = m_b h_b$; aus den ähnlichen Dreiecken folgt $L\frac{c_a}{l} = m_c j_c$ und C_a ist entweder $m_c k_c$ oder $m_c h_c$, je nachdem W_c unmittelbar zur Rechten oder zur Linken von C angenommen wird. Daher geht die rechte Seite von Gleichung 5) von + in — über, wenn W_c durch C geht, und W_c verursacht einen Gröfstwerth von M in C, sobald es diesen Punkt erreicht. Um auf praktischem Wege zu finden, welches Rad oder welche Räder ein gröfstes Moment in C erzeugen, bezeichne man A, C, B an der Kante eines Papierstreifens, und während C der Reihe nach auf dem Hauptblatt unter die Raddrücke gebracht wird, halte man einen angespannten Faden vom Punkte h_a zum Punkte h_b, welche Punkte gerade über A und B gefunden werden, vorausgesetzt, dafs die Kante des Papierstreifens ACB wagerecht ist. Wenn der Faden $h_a h_b$ das Loth des in Betracht stehenden Raddruckes kreuzt, dann ist das Moment in C am gröfsten. Dieses Verfahren, um die ein gröfstes Moment erzeugende Stellung des Zuges zu finden, wurde zum ersten Mal vom Civil-Ingenieur Strobel, Mitglied des Am. Soc. C. E. vor etwa zwölf Jahren vorgeschlagen und angewendet.*) Das Verfahren hat sich in der Praxis so nützlich und zeitsparend erwiesen, dafs der Schreiber dieses sich veranlafst fühlte, den Kreis der Anwendungen ähnlicher zeichnerischer Verfahren zu erweitern, und als Ergebnifs seiner Bemühungen bietet er diese kleine Abhandlung.

Oft ist es erwünscht, diejenige Strecke zu kennen, innerhalb welcher das gröfste Biegungsmoment vom Einflufs eines gewissen Raddruckes W_3 abhängt. Dies wird leicht erreicht unter der Voraussetzung, dafs C in dem Lothe durch W_c verbleibe, während die Spannweite nach einer Richtung hin verschoben wird, bis $h_a h_b$ durch h_c oder k_c hindurchgeht, und dann in der entgegengesetzten Richtung, bis diese Linie wieder durch k_c oder h_c hindurchgeht. Der Theil der Spannweite AB, welchen der Punkt C auf dieser durchläuft, während AB von einer der äufsersten Lagen nach der andern verschoben wird, ist die Strecke, innerhalb welcher das gröfste Moment W_c abhängig ist, und mag der Bequemlichkeit wegen mit derselben Bezeichnung versehen werden wie der Raddruck selbst. Diese Strecken reichen in einander hinüber; es erzeugt aber oft mehr als nur ein Rad in einem gegebenen Punkt ein gröfstes Moment. Welcher dieser Werthe der gröfste ist, kann mit Hülfe der Auflagerdrucklinie leicht ermittelt werden, wie in folgendem Beispiel an einer allgemeineren Aufgabe gezeigt werden wird.

9. Es sei zu bestimmen, welche von zwei gegebenen Zugstellungen in einem gegebenen Punkte C der Spannweite AB das gröfsere Biegungsmoment erzeugt.

Die Punkte A, B, C sollen anfänglich die Orte A', B', C' einnehmen, wie in Abbildung 9, und die früher angeführten

---

*) Wie dem Verfasser erst während der Drucklegung dieses Aufsatzes bekannt geworden ist, hat der oben genannte Fachmann das in Rede stehende Verfahren nicht selbst gefunden, sondern im Jahre 1871 durch die von Professor Mohr in Stuttgart gehaltenen Vorträge kennen gelernt.

Gröfsen M, b, c sollen für die linksseitige Stellung des Zuges mit M', b', c', für die rechtsseitige Stellung mit M'', b'', c'' bezeichnet werden; alsdann ist das Biegungsmoment M'' wie folgt auszudrücken:

$$M'' = \frac{c_a}{l} \sum_{A''}^{B''} W b'' - \sum_{A''}^{C''} W c''.$$

Dann bestehen folgende Gleichungen bezüglich jedes einzelnen Rades: $b''-b'=x$; $c''-c'=x$, daher $b''=(b'+x)$; $c''=(c'+x)$. Dies in die Summen zwischen den Grenzen $A'B'$ und $A'C'$ eingesetzt, giebt durch Abziehen und Umformen und unter Berücksichtigung der Streckengleichheit $A''B''=A'B'-A'A''+B'B''$ und $A''C''=A'C'-A'A''+C'C''$ die folgende Gleichung:

$$M''-M' = \frac{c_a}{l}\left[\sum_{A'}^{B'} W(b'+x) - \sum_{A'}^{A''} W b'' + \sum_{B'}^{B''} W b'' - \sum_{A'}^{B'} W b'\right] - \left[\sum_{A'}^{C'} W(c'+x) - \sum_{A'}^{A''} W c'' + \sum_{C'}^{C''} W c'' - \sum_{A'}^{C'} W c'\right].$$

Durch Tilgung der Glieder mit b' und c' und durch Einsetzen von $b''=l+a''$ und $c''=c_a+a''$ (in welch beiden letzteren Gleichungen a'' die Entfernung irgend eines zur Linken von A'' befindlichen Rades bedeutet und daher für alle so gelegenen Räder positiv ist) in die Summen zwischen den Grenzen A' und A'' folgt:

$$\frac{M''-M'}{x} = \left[\sum_{A'}^{B'} W - \sum_{A'}^{A''} W\frac{a''}{x} + \sum_{B'}^{B''} W\frac{b''}{x}\right]\frac{c_a}{l} - \left[\sum_{A'}^{C'} W - \sum_{A'}^{A''} W\frac{a''}{x} + \sum_{C'}^{C''} W\frac{c''}{x}\right], \text{ oder}$$

$$6)\quad \frac{M''-M'}{x} = \left(L' - U'_a + U'_b\right)\frac{c_a}{l} - \left(A' - U'_a + U'_c\right),$$

in welcher Gleichung $U'_a = \sum_{A'}^{A''} W\frac{a''}{x}$ den Auflagerdruck am Ende von A' für diejenigen Radlasten bedeutet, die sich innerhalb einer Spannweite $A'A''=x$ befinden.

In ähnlicher Weise sind U'_b und U'_c die in B' und C' entstehenden Auflagerdrücke der Belastung innerhalb der Spannweiten $B'B''$ und $C'C''$, jede von der Länge x. A' umfafst die Lasten innerhalb $A'C'$. Daher, wenn u_a, u_c, u_b die Auflagerdrucklinie für die Spannweite x darstellt, stellt der Höhenunterschied zwischen u_a und u_b die Gröfse in der ersten Klammer in Gleichung 6) und infolge der Aehnlichkeit der Dreiecke der Höhenunterschied zwischen i und u_a jenen ganzen Theil der rechten Seite der Gleichung 6) dar, der dem zweiten Klammerausdruck vorangeht. In gleicher Weise läfst sich zeigen, dafs der zweite Klammerausdruck den Höhenunterschied darstellt zwischen u_c und u_a. Daher kann Gleichung 6) endlich wie folgt geschrieben werden:

$$\frac{M''-M'}{x} = u_c i,$$

woraus zu ersehen, dafs, wenn u_c oberhalb $u_a u_b$ liegt, $M''<M'$, aber $M''>M'$, wenn u_c unterhalb $u_a u_b$ liegt. Diese Beziehung läfst hiernach ohne weiteres erkennen, welcher der beiden Werthe von M der gröfsere ist.

Ferner kann die Aufgabe gestellt werden, zu untersuchen, welche Stellung des Zuges in dem Gurtstück, das die zufällige Belastung trägt, die gröfste Spannung erzeugt.

10. Die zur Erzeugung einer gröfsten Spannung in irgend einem Gurtstück DE eines einfachen Fachwerkträgers AB nothwendige Stellung des Zuges, wenn D und E Knotenpunkte bezeichnen, auf welche die zufällige Last von den Fahrbahnträgern übertragen wird, kann leicht gefunden werden mit Hülfe der Lastlinie allein, wie folgt. In Abbildung 10 bedeute DE eine Fachlänge p des Fachwerkträgers AB von der Spannweite l, und der DE gegenüberliegende Knotenpunkt sei C. Man bezeichne die Längen CA mit c_a und CE mit c_e. Ebenso bedeute b die Entfernung eines beliebigen Rades innerhalb AB von B, c die Entfernung von C und d diejenige von D eines beliebigen Rades innerhalb DE. Dann wird das Biegungsmoment M, welches die Spannung im Gurt DE erzeugt, gleich sein dem Unterschiede zwischen dem gesamten Biegungsmoment in C, erzeugt durch alle Raddrücke innerhalb der Spannweite AB und dem Biegungsmoment in C, erzeugt durch die Raddrücke innerhalb des Faches DE, indem das Biegungsmoment, bedingt durch dieses Fach, von den Fahrbahnlängsträgern aufgenommen wird. Es ist daher

$$M = \frac{c_a}{l}\sum_{A}^{B} Wb - \sum_{A}^{C} Wc - \left[\frac{c_e}{p}\sum_{E}^{D} Wd - \sum_{E}^{C} Wc\right].$$

Läfst man den Zug sich nun eine kleine Strecke δx nach links bewegen, dann erhalten wir in derselben Weise wie früher

$$7)\quad \frac{\delta M}{\delta x} = \frac{c_a}{l}\sum_{A}^{B} W - \sum_{A}^{C} W - \left[\frac{c_e}{p}\sum_{E}^{D} W - \sum_{E}^{C} W\right].$$

Die rechte Seite von Gleichung 7) mufs aus einem positiven in einen negativen Werth übergehen, damit M einen gröfsten Werth erreiche. Es ist aus der vorangegangenen Besprechung der Gleichung 5) klar, dafs solch ein Uebergang nicht dadurch eintreten kann, dafs Räder entweder in die Spannweite auffahren oder dieselbe verlassen; ferner aus Gleichung 7), dafs kein endlicher Wechsel stattfinden kann, wenn ein Rad den Punkt C überschreitet, und ebenso, wenn nur ein Rad das Fach im Punkt E verläfst. Denn dann werden beide Summen innerhalb der Klammer von Gleichung 7) vermindert um den Raddruck; dies wird aber einen gröfseren Einflufs ausüben auf den letzten Ausdruck in der Klammer als auf den ersten, weil $c_e<p$, und daher wird der gesamte Einflufs der sein, den ganzen Klammerwerth zu vermehren, die rechte Seite von Gleichung 7) abzumindern und dieselbe negativ werden zu lassen. Auf diese Weise kann ein Gröfstwerth entstehen, wenn ein Rad in E steht. Wenn ein Rad in das Fach DE in D eintritt, kann das Vorzeichen der rechten Seite von Gleichung 7) vom positiven ins negative übergehen, denn es wird nur eine Vermehrung des ersten Ausdrucks in der Klammer bewirkt. Daher kann eine gröfste Beanspruchung in DE eintreten, wenn eines der Räder in D steht oder, wie soeben gezeigt wurde, in E. Nun liege in Abbildung 10 D in der Lothlinie eines Raddruckes W_d und es sollen h_a, h_e, h_c, h_b die Punkte der Lastlinie sein in den Lothen in A, E, C, B, und es werde das Loth in C zum Schnitt gebracht mit den Neigungslinien $h_a h_b$, $h_e h_d$ und $h_e k_d$ in den Punkten i, j' und j, dann sind die beiden ersten Ausdrücke der rechten Seite von Gleichung 7), wie früher schon gezeigt, gleich $h_c i$, und der Klammerausdruck von Gleichung 7) ist gleich $h_c j'$ oder gleich $h_c j$, je nachdem W_d innerhalb DE steht oder nicht. Daher geht die rechte Seite von Gleichung 7) von + in — über beim Eintritt von W_d in das Fach DE im Punkte D, wenn i ganz ohne Rücksicht auf die Lage von h_c zwischen j' und j liegt. Im allgemeinen: wenn ein beliebiges Rad in D oder E steht, sodafs der Schnittpunkt i der Spannweiten-Neigungslinie $h_a h_b$ und des Lothes in C zwischen den beiden Fachweiten-Neigungslinien liegt, dann ist der

Zug in einer Stellung, in welcher eine gröfste Spannung in DE erzeugt wird. Bei der Anwendung dieses Verfahrens ist es nicht nöthig, die Neigungslinie auf das Hauptblatt zu zeichnen.

11. Es ist einleuchtend, dafs es mehrere Zugstellungen giebt, welche eine gröfste Spannung in DE bewirken. Um zu finden, welche die wirklich gröfste Spannung erzeugt, werden wir die allgemeine Frage besprechen, welche von zwei beliebig gewählten Stellungen die gröfsere Spannung in DE erzeugen.

Es sollen die zuletzt angeführten Gröfsen M, b, c und d mit M', b', c' d' bezeichnet werden für die linksseitige Stellung des Zuges und mit M'', b'', c'', d'' für die rechtsseitige Stellung; x bezeichne die gegenseitige Verschiebung der zwei Stellungen, wie zuvor in Abbildung 9. — In ähnlicher Weise wie die Ableitung von Gleichung 6) ergiebt sich aus der ersten Gleichung des letzten Abschnittes eine neue Gleichung, in der nicht nur alle Ausdrücke erscheinen, die in Gleichung 6) vorkommen, und die Bezug haben auf die Punkte A, C, B, sondern eine gleiche Anzahl von ähnlichen Ausdrücken mit entgegengesetzten Zeichen, Bezug habend auf die Punkte E, C, D. Das Ergebnifs kann auf die Form gebracht werden:

$$8) \quad \frac{M''-M}{x} = (L'-U'_a+U'_b)\frac{c_a}{l}-(A'-U'_a+U'_c)- \left[(P'-Q'_e+Q'_d)\frac{c_e}{p}-(E'-Q'_e+Q'_c)\right],$$

in welcher Gleichung P' die Gesamtlast im Fache $D'E'$ darstellt und E' diejenige in $C'E'$, während $Q'_c = U'$, Q'_d und Q'_e die Auflagerdrücke bedeuten an den linken Enden der Spannweiten $C'C''$, $D'D''$, $E'E''$, jede von der Länge x. Die erste Hälfte der rechten Seite von Gleichung 8), die sich auf die Punkte A', C', B' bezieht, ist, wie bereits gezeigt wurde, der Ausdruck für die Länge $u_c i$, während die letzte Hälfte sich auf die Punkte E', C', D' bezieht und der Ausdruck ist für die Länge $u_c j$, vorausgesetzt, es sei $u_a u_c u_d u_b$ die Auflagerdrucklinie für die Spannweite x. Es ergiebt sich hieraus, dafs, wenn j oberhalb i liegt, $M'' < M'$, dafs aber $M'' > M'$, wenn j unterhalb i liegt. Die Anwendung dieses Verfahrens ermöglicht uns zu erkennen, welche von zwei Stellungen, die beide gröfste Spannungen verursachen, die gröfsere erzeugt.

12. Es sollen nun einige Aufgaben besprochen werden, die Bezug haben auf die Biegungsmomente in einem einfachen Vollwandträger, der durch eine bestimmt begrenzte Anzahl von unter sich in unveränderlichem Abstande befindlichen Raddrücken belastet sei, von denen alle auf dem Träger verbleiben.

Diese Aufgaben werden hauptsächlich dazu dienen, den Vortheil zu beleuchten, den die Benutzung der Lastlinie und einige Abänderungen derselben in der Anwendung auf eine begrenzte Anzahl Räder bieten. Dieser Fall ist natürlich weniger verwickelt als derjenige im Vorhergehenden entwickelte von einer unbegrenzten Anzahl. Daher läfst dieser Fall in gewissen Hinsichten eine vollständigere Lösung zu, als der allgemeine Fall es gestattet.

Die erste dieser Aufgaben besteht darin, die Spannweite AB in Strecken I, II, III usw. abzutheilen, in denen das gröfste Biegungsmoment der Reihe nach von den einzelnen Raddrücken W_1, W_2, W_3 .. abhängig ist, die zusammen die bestimmte Gruppe von Rädern bilden. Es sollen die in Abbildung 11 dargestellten Raddrücke W_1 bis W_4 innerhalb der Spannweite AB verbleiben. Für irgend eine beliebig gewählte Stellung werde die Neigungslinie $h_a h_b$ gezogen. Die Schnittpunkte derselben mit den Wagerechten $h_1 k_2$, $h_2 k_3$ und $h_3 k_4$ seien mit i_1, i_2 und i_3 bezeichnet. Wenn die Gruppe in eine solche Stellung verschoben wird, dafs W_1 nach i_1 gelangt, so ist einleuchtend, dafs die rechte Seite der Gleichung 5) verschwinden würde und dafs ebenso für irgend welche Punkte zur Linken von i_1 die rechte Seite der Gleichung 5) von einem positiven in einen negativen Werth übergehen würde, indem W_1 von der rechten nach der linken Seite dieses Punktes sich bewegen würde. Wenn W_2 nach i_2 verschoben wird, so würde das letzte Glied von Gleichung 5) wieder verschwinden, und für irgend einen Punkt zwischen i_2 und i_1 würde das letzte Glied von Gleichung 5) von einem positiven in einen negativen Werth übergehen. Daher ist auf der Strecke I, die von A bis zum Lothe durch i_1 reicht, das gröfste Moment abhängig vom Raddruck W_1. Auf ähnliche Weise reicht die Strecke II von dem Loth durch i_1 bis zum Lothe i_2 usw. Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke erhellt, dafs die Längen der Strecken I, II, III, IV im Verhältnifs der Raddrücke W_1, W_2, W_3, W_4 zu einander stehen und dafs im allgemeinen die Längen solcher Strecken, innerhalb welcher die Momente von den der Reihe nach die Gruppe bildenden Rädern abhängen, proportional sind diesen Raddrücken, vorausgesetzt, dafs es thatsächlich möglich ist, für jedes Rad die ganze von ihm in solcher Weise abhängige Strecke zu durchlaufen, ohne dafs irgend eines der übrigen Räder die Spannweite verläst. Wenn z. B. die Strecke I kürzer ist als die Entfernung zwischen W_1 und W_2, dann könnte W_2 nicht bis i_1 sich bewegen, bevor W_1 die Spannweite verlassen würde; aber W_2 würde ein gröfstes Moment erzeugen in jenem ganzen Theil der Strecke II, den es durchlaufen kann, während W_1 noch auf der Spannweite sich befindet. — Es wäre noch fraglich in Bezug auf den übrigen Theil dieser Strecke II, ob das gröfste Moment in irgend einem Punkte derselben erzeugt würde durch W_1 oder W_2, während W_1 schon die Spannweite verlassen, oder möglicherweise durch ein anderes Rad; aber dies wäre eine Frage, die leicht entschieden werden könnte nach Abschnitt 9. Aehnliche Bemerkungen gelten bezüglich irgend einer anderen Strecke, wenn sie nicht ganz von dem sie bedingenden Rade durchlaufen werden kann, bevor ein anderes Rad der betrachteten Gruppe die Spannweite verläfst.

13. Es sei derjenige Punkt in der Spannweite zu bestimmen, in welchem jedes Rad einen bestimmten, in ihrer Gesamtheit innerhalb der Spannweite verbleibenden Gruppe ein gröfseres Biegungsmoment erzeugt, als an irgend einem anderen Punkt. Das Biegungsmoment M in einem beliebigen Punkt C kann nach dem früheren durch die Gleichung

$$M = \frac{c_a}{l}\sum_A^B Wb - \sum_A^C Wc$$

ausgedrückt werden. Es sei der Punkt C unter dem Rad W_c, dessen das gröfste Biegungsmoment erzeugende Stellung gefunden werden soll; dann ist c_a die Entfernung von W_c bis A. Nachdem die ganze Gruppe eine kleine Strecke δx nach links sich bewegt hat, ist

$$M + \delta M = \frac{c_a - \delta x}{l}\sum_A^B W(b+\delta x) - \sum_A^C W_c.$$

Durch Abziehen der ersteren Gleichung von der letzteren ergiebt sich unter Vernachlässigung des verschwindend kleinen

Ausdrucks, der δx enthält, das auf folgende Form gebrachte Ergebnifs:

$$\frac{\delta M}{\delta x} = \frac{L}{l}(c_a - b_g), \tag{9}$$

worin L die Gesamtsumme aller Radlasten auf der Spannweite und b_g die Entfernung des Schwerpunktes G derselben von B bezeichnet. Demnach erreicht M einen Gröfstwerth, wenn $c_a = b_g$, woraus folgt, dafs der Punkt, in welchem ein Rad W_c das gröfste Moment erzeugt, ebenso weit von A entfernt ist, als der Schwerpunkt aller Lasten von B, oder, einfacher ausgedrückt: das Rad W_c und der Schwerpunkt der Last L müssen sich in gleichen Entfernungen und auf verschiedenen Seiten von der Mitte der Spannweite befinden.

Die Radstellung für das gröfste Moment für die Spannweite AB kann mit Hülfe der Lastlinie sehr leicht wie folgt ermittelt werden: Die Gruppe der Räder, die auf der Spannweite AB verbleiben, sei in Abbildung 12 dargestellt durch die Lastlinie $k_1 \ldots h_3$ und G bezeichne die Lage eines Lothes durch den Schwerpunkt. Es wurde früher schon gezeigt, wie G gefunden wird mit Hülfe der Auflagerdrucklinie für irgend eine Spannweite, auf welcher sich gerade diese bestimmte Anzahl Räder befindet. Für den Fall, dafs noch keine solche Auflagerdrucklinie zur Verfügung steht, ist zu beachten, dafs die Ermittlung des Schwerpunktes der Radlasten am einfachsten wird unter der Annahme einer Spannweite, die gleich ist der Entfernung der äufsersten Räder, sodafs das eine Ende unter dem ersten Rade und das andere Ende sich unter dem letzten befindet. Nachdem so das Loth durch G bestimmt ist, ist es, wie bereits erklärt, nur noch nöthig, den Lastenzug soweit zu verschieben, bis G ebenso weit von O, dem Mittelpunkt der Spannweite, entfernt ist, wie W_1 von O, damit W_1 sich an der Stelle befinde, in dem es das gröfste Moment erzeugt. Es ist einleuchtend, dafs W_1 dann in einem Punkte 1 sich befindet, dessen Lage dadurch bestimmt ist, dafs $O\,1 = \frac{1}{2}\,G\,1_1$. Aehnlich mufs der Punkt 2, in welchem W_2 sein gröfstes Moment erzeugt, um eine Entfernung $O\,2$ von O abliegen, die gleich der Hälfte ist von $G\,2_1$, usw. für die anderen Räder. Es ist indessen einfacher, die Entfernungen $A_1\,G$ und $B_1\,G$ jede gleich AB abzutragen. Denn wenn $A_1\,B_1$ als die im doppelten Mafsstabe von AB aufgetragene Spannweite angenommen wird, so liegt G im Mittel der Spannweite $A_1\,B_1$ und die Radstellungen 1_1, 2_1, 3_1 werden dann die Punkte bezeichnen, in denen die Räder W_1, W_2, W_2 ihre gröfsten Biegungsmomente erzeugen, vorausgesetzt, dafs die Räder diese Punkte erreichen können, ohne dafs irgend ein Rad der ganzen Anzahl die Spannweite verläfst.

14. Es sei zu bestimmen, welches Rad der ganzen Gruppe ein gröfseres Biegungsmoment erzeugt, als irgend ein anderes Rad.

Die Spannweite $A_1\,B_1$ sei in die Strecken I, II, III usw. eingetheilt, innerhalb welcher das gröfste Moment abhängig ist von den Raddrücken W_1, W_2, W_3 usw. Die Länge der Strecken stehen, wie früher gezeigt wurde, im Verhältnifs der Radlasten. Nun ist aus Abbildung 12 ersichtlich, dafs 1_1, der Punkt, in welchem W_1 ein gröfstes Moment erzeugt in der Spannweite $A_1\,B_1$, innerhalb der Strecke II liegt, demzufolge wird W_2 ein gröfseres Moment in 1 erzeugen, als W_1 in diesem gleichen Punkt. Aber W_2 erzeugt in 2 ein gröfseres Moment als in 1_1 oder irgend einem andern Punkt innerhalb $A_1\,B_1$. Hieraus folgt, dafs, wenn der Punkt, in dem ein Rad sein gröfstes Biegungsmoment erzeugt, innerhalb der Strecke liegt, in der das gröfste Moment von diesem gleichen Rade bedingt ist (wie z. B. Punkt 2 innerhalb der Strecke II gelegen ist), das Moment in diesem Punkte gröfser als das unter einem andern Rade ist, dessen ein gröfstes Moment erzeugende Stellung in die gleiche Strecke fällt (wie z. B. der Punkt 1_1 des Rades W_1 innerhalb der Strecke II).

Bei der Anwendung dieses Verfahrens ist es nicht erforderlich, die Spannweite $A_1\,B_1$ in Strecken einzutheilen, wie dies hier geschehen. Die Raddrücke, deren Stellungen für ein gröfstes Moment innerhalb der von diesen Rädern abhängigen Strecken liegen, sind nämlich dadurch gekennzeichnet, dafs ihre Lothe in der Lastlinie von der Neigungslinie $h_a\,h_b$ geschnitten werden. Wenn irgend einer dieser Raddrücke sich in nächster Nähe des Schwerpunktes G der ganzen Gruppe befindet, so schneidet die Neigungslinie gewöhnlich das Loth desselben allein; aber sie kann auch zwei aufeinanderfolgende Raddrucklothe schneiden, und es ist dann durch Vergleich zu bestimmen, welches der Räder das allergröfste Moment erzeugt.

15. Es soll bestimmt werden, an welcher Stelle jeder einzelne Raddruck einer bestimmten Gruppe, die in ihrer Gesamtheit auf der Spannweite verbleibt, das gröfste Biegungsmoment erzeugt, während aufserdem eine gleichmäfsig über die Spannweite vertheilte Last vorhanden ist.

Bezeichnet w die gleichmäfsig vertheilte Last für die Längeneinheit, dann läfst sich das Biegungsmoment in C folgendermafsen ausdrücken:

$$M = L\frac{c_a\,b_g}{l} - C_a\,c_g + \tfrac{1}{2}\,w\,c_a\,(C - c_a).$$

In dieser Gleichung bedeutet L die Gesamtlast aller Raddrücke auf AB und C_a diejenige der innerhalb der Strecke AC wirkenden, während b_g die Entfernnng von B bis zum Loth durch den Schwerpunkt von L und c_g diejenige von C bis zum Loth durch den Schwerpunht von C_a bedeutet; c_a ist die Entfernung von C bis A. Nun soll C sich mit dem Zuge um eine kleine Strecke δx nach links bewegen; dann ist:

$$M + \delta M = \frac{L}{l}(c_a - \delta x)\,b_g + \delta x - C_a c_g + \tfrac{1}{2}\,w\,(c_a - \delta x)(l - c_a + \delta x).$$

Bei Vernachlässigung der verschwindend kleinen Ausdrücke hat man:

$$\frac{\delta M}{\delta x} = \frac{L}{l}(c_a - b_g) + w(c_a - \tfrac{1}{2}\,l),$$

eine der Gleichung 9) ähnliche Gleichung. M erreicht seinen gröfsten Werth, wenn dieser Ausdruck verschwindet; wird derselbe gleich 0 gesetzt, so kann das Ergebnifs auf folgende Form gebracht werden:

$$\frac{L\,b_g}{l} = \frac{L + w\,l}{l}\,c_a - \frac{w\,l}{2}, \tag{10}$$

ein Ergebnifs, welches die Beziehung ausdrückt, die zwischen c_a und b_g besteht für ein gröfstes Moment unter einem Rad, das um eine Entfernung c_a von A absteht. Wir sagen ausdrücklich unter einem Rad, denn es ist anderweitig bekannt, dafs ein gröfstes Moment nur unter einem Rad vorkommen kann.

Die Lage dieses Ortes eines gröfsten Momentes für die aufeinander folgenden Räder kann leicht wie folgt gefunden werden: Bezeichnet man in Abbildung 13 die Stellungen der Raddrücke W_1, W_2, W_3 mit 1′, 2′, 3′, während ihr gemeinsamer Schwerpunkt G in der Mitte der Spannweite $A_1\,B_1$ sich

befindet, welch letztere, ebenso wie in Abbildung 12, im doppelten Mafsstabe wie die Radabstände aufgetragen ist, dann sind 1', 2', 3' die Punkte gröfster Momente innerhalb der Spannweite $A_1 B_1$ unter den Rädern W_1, W_2, W_3 für den Fall, dafs aufser den Radlasten keine weitere Last vorhanden ist.

Es sei $h_a o = pg = L$ gleich der Summe der Raddrücke und $om = np = {}^1/_2 wl$ gleich der Hälfte der gesamten gleichmäfsig vertheilten Last. Die Gleichung der Neigungslinie gh_a läfst sich dann in folgender Weise schreiben: $y' = \frac{L b_g}{l}$, für g als Nullpunkt vorausgesetzt; b_g sei positiv vom Nullpunkt nach links, y' senkrecht abwärts. Ebenso kann die Gleichung der Linie mn geschrieben werden: $y'' = \frac{L + wl}{l} c_a - \frac{wl}{2}$, für o als Nullpunkt vorausgesetzt; y'' sei abwärts gemessen positiv und c_a sei die Entfernung von C (dem Punkt, in welchem das Moment bestimmt wird) bis zum Nullpunkt.

Damit Gleichung 10) die Bedingung für ein gröfstes Moment befriedige, mufs $y' = y''$ sein, wenn c_a und b_g so gelegen sind, dafs der Punkt C, in dem das Moment wirkt, unter einem Rad sich befindet. Um den Ort zu finden, für welchen W_1 diese Bedingung erfüllt, ziehe man $1'1''$ gleichlaufend mit $h_a g$ und setze voraus, dafs die Rädergruppe sich in eine solche Stellung verschoben, dafs W_1 in das Loth durch $1''$ fällt; dann hat der Schwerpunkt der Gruppe ebenfalls eine gleiche Verschiebung erfahren und liegt in dem Loth durch G_1. Aber in dieser Stellung von W_1 ist $y'_1 = y''_1$, in welcher Gleichung die Zeiger unten sich auf W_1 beziehen sollen. Gleichzeitig erfüllen c_a und b_g die Gleichung 10) für die Punkte $1''$ und G_1, beide sind in denjenigen Linien gelegen, in welchen sie zu liegen haben, nämlich beziehungsweise in mn und $h_a g$.

Auf ähnliche Weise kann gezeigt werden, dafs W_2 und W_3 ihre gröfsten Momente erzeugen in den Lothen durch $2''$ und $3''$, vorausgesetzt $2'2''$ und $3'3''$ seien gleichlaufend mit $h_a g$.

Da die Neigungslinie $h_a g$ die W_2 darstellende Strecke in der Lage, welche ihrem gröfsten Moment entspricht, schneidet, so leuchtet ein, dafs W_2 in dieser Stellung der Bedingung für ein gröfstes Moment in irgend einem Punkte der Spannweite nach Gleichung 5) genügt, und infolge dessen wird W_2 im Punkte $2''$ das gröfste in der Spannweite vorkommende Moment erzeugen. Im Falle jedoch die Neigungslinie $h_a g$ zwei aufeinander folgende Radlaststrecken in deren Stellungen gröfster Momente schneiden sollte, ist es nöthig, durch Vergleich zu entscheiden, welches der beiden Räder das gröfsere Moment erzeugt.

16. Eine vorläufige Mittheilung über den in dieser Abhandlung erörterten Gegenstand wurde von dem Verfasser in der Sitzung der „Am. Assoc. for the Advancement of Science“ im August des Jahres 1886 in Buffalo vorgelesen; ebenso trug der Verfasser in der Sitzung derselben Gesellschaft in New-York im August 1887 eine ausführliche Abhandlung vor, von welcher die hier vorliegende der Hauptsache nach eine Wiederholung ist. Der Verfasser hat auch während des Sommers 1886 Herrn Professor Maurice Levy, Ing. en chef des Ponts et Chaussées, Paris, brieflich eine Anzahl der hier angeführten Verfahren mitgetheilt und auf seinen Wunsch hin ihm die Erlaubnifs ertheilt, so viel davon zu veröffentlichen, als ihm wünschenswerth erscheinen möge.

Zum Schlufs möchte der Verfasser dem Ingenieur Herrn K. Emil Hilgard in Cincinnati, ehemaligem Assistenten für Ingenieurwissenschaften am Eidg. Polytechnicum in Zürich, seinen aufrichtigen Dank aussprechen für sein freundliches Interesse und seinen Beistand bei der Bearbeitung dieser Abhandlung für deren Veröffentlichung in deutscher Sprache.

Wallunt Hills Cincinnati, November 1887.

Der Verfasser.

Halle a. S., Buchdruckerei des Waisenhauses.